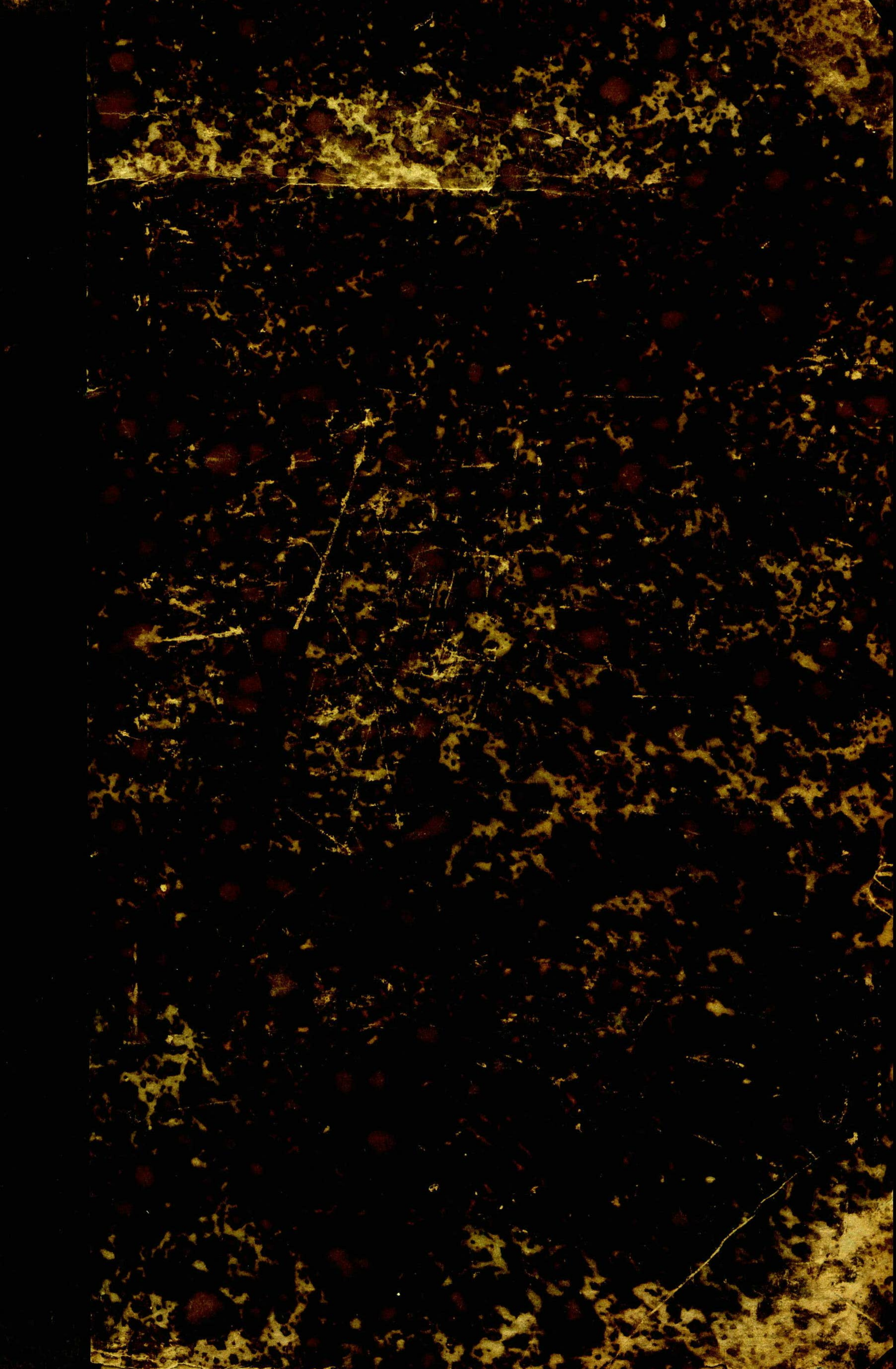
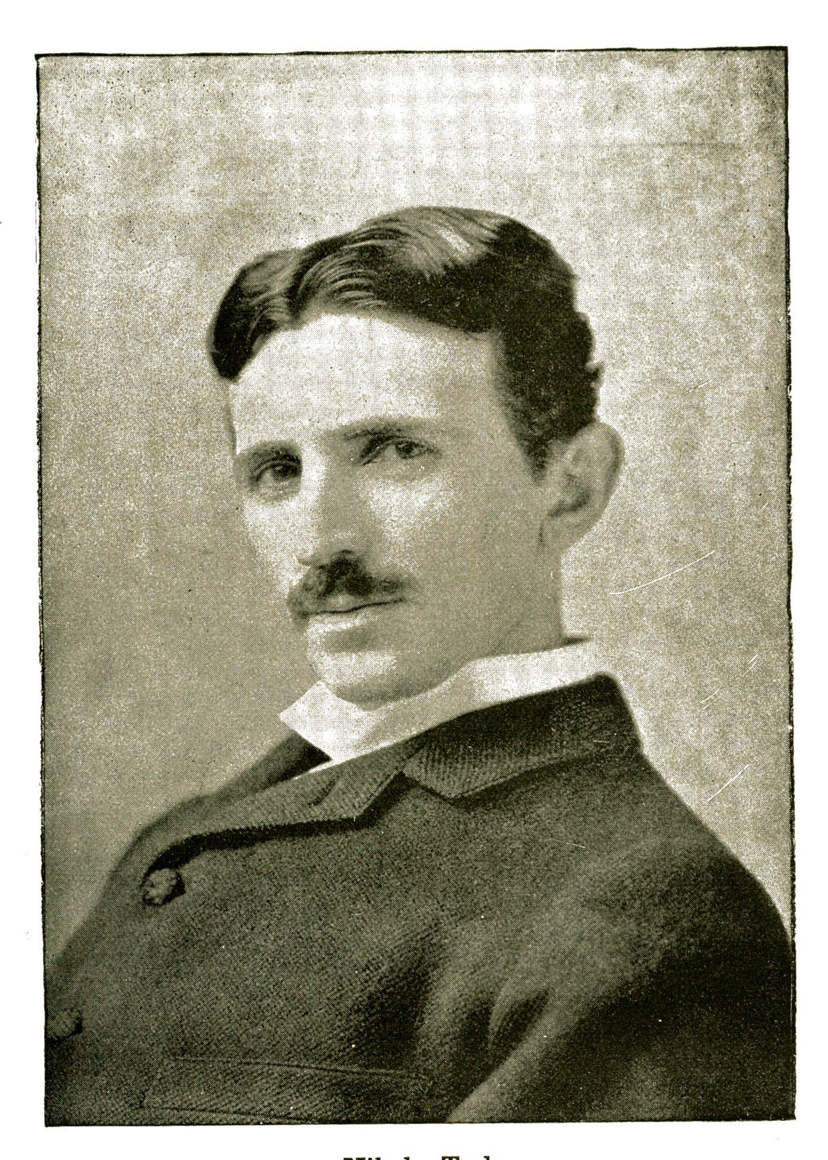




Nikola Tesla.

Nikola Tesla's
Untersuchungen über Mehrphasenströme
und über
Wechselströme hoher Spannung und Frequenz.

Mit besonderer Berücksichtigung seiner Arbeiten
auf den Gebieten
der Mehrphasenstrommotoren und der Hochspannungsbeleuchtung
zusammengestellt
von

Thomas Commerford Martin.

Autorisirte deutsche Ausgabe
von

H. Maser.

Mit 313 Abbildungen.

Halle a. S.,
Verlag von Wilhelm Knapp.
1895.



Vorwort des Verfassers.

Die Aufgaben der Elektrotechnik liegen heutzutage hauptsächlich auf dem Gebiete der ökonomischen Kraftübertragung und der radikalen Verbesserung der Mittel und Methoden der Beleuchtung. Die gegenwärtig bekannten Apparate und Vorrichtungen, welche jenen Zwecken dienen, sind nach der Ansicht vieler Forscher und Erfinder schwerfällig und unwirthschaftlich und lästigen Beschränkungen unterworfen. Man ist der Meinung, dass die Principien der Stromerzeugung geändert, das Feld der Stromlieferung erweitert und die Verbrauchsapparate zugleich verbilligt und vereinfacht werden müssen. Die glänzenden Errungenschaften der Vergangenheit berechtigen zu der Hoffnung auf noch herrlichere Erfolge.

Die vorliegende Schrift ist ein einfacher Bericht über die Pionirarbeit, welche bisher auf diesen Gebieten von Nikola Tesla geleistet wurde, den die Welt bereits als einen der hervorragendsten unter den modernen elektrischen Forschern und Erfindern anerkannt hat. Nirgends ist versucht worden, die Bedeutung seiner Untersuchungen und Entdeckungen noch besonders hervorzuheben. Grosse Ideen und wirkliche Erfindungen brechen sich von selbst Bahn und erobern sich durch das ihnen innewohnende Verdienst selber den ihnen gebührenden Platz. In der Ueberzeugung aber, dass Tesla einen Weg bezeichnet hat, den die Entwickelung der Elektricität in Zukunft lange Zeit wird gehen müssen, hat der Verfasser alles das zusammenzustellen gesucht, was den Stempel des Tesla'schen Geistes an sich trägt und der Aufbewahrung werth ist. Abgesehen von dem Werthe, welcher diesem Buche durch die Darlegung der Erfindungen Tesla's zukommt, dürfte dasselbe auch insofern nützlich sein, als es seinen umfassenden Gedankenkreis erkennen lässt. Es liegt ein intellektueller Gewinn in dem Studium der Kämpfe und Erfolge eines starken und originalen Geistes.

Obwohl das Interesse des Publikums an Tesla's Arbeiten vielleicht erst in neuerer Zeit ein so lebhaftes geworden ist, umfasst dieser Band doch die Ergebnisse eines vollen Decenniums. Er ent-

hält seine Vorträge, Abhandlungen und Diskussionen verschiedenen Inhalts und berücksichtigt alle seine bisher bekannt gewordenen Erfindungen, insbesondere diejenigen, welche sich auf Mehrphasenmotoren, sowie die mit Strömen von hoher Spannung und Frequenz erhältlichen Erscheinungen beziehen. Man wird finden, dass Tesla immer vorwärts eilte und sich kaum einen Augenblick Ruhe gönnte, um die für ihn sogleich auf der Hand liegenden Nutzanwendungen der neu entdeckten Principien im Einzelnen weiter auszuarbeiten. Ueberall, wo es anging, sind seine eigenen Worte angeführt.

Es sei noch bemerkt, dass Tesla die Herausgabe dieses Buches genehmigt und gebilligt hat und dass es gestattet worden ist, die vor verschiedenen technischen Gesellschaften in Amerika und Europa gehaltenen Vorträge hier wieder abzudrucken. Tesla hatte die Güte, die Probebogen derjenigen Abschnitte, welche seine jüngsten Untersuchungen enthalten, selbst durchzusehen. Auch Herr Joseph Wetzler, der Freund und Kollege des Verfassers, hat das Buch einer sorgfältigen Revision unterzogen und die Drucklegung desselben überwacht.

New York, December 1893.

Vorwort des Uebersetzers.

Wie aus dem vorstehenden Vorworte des Verfassers zu entnehmen ist, sind in diesem Buche im Wesentlichen alle diejenigen wichtigeren Veröffentlichungen wiedergegeben, welche Tesla selbst bis etwa zur Mitte des Jahres 1893 über seine Erfindungen und Untersuchungen in amerikanischen elektrotechnischen Journalen veranstaltet hat. Da ferner Herr Tesla diejenigen Abschnitte dieses Buches, in denen über noch nicht veröffentlichte Arbeiten desselben berichtet wird, vor der Drucklegung selbst durchgesehen hat, so wird man das vorliegende Werk als eine authentische Darlegung seiner Arbeiten betrachten dürfen. Eine solche authentische Darlegung der technischen Erfindungen und wissenschaftlichen Untersuchungen eines originalen Geistes, auf welche Bezeichnung Tesla mit Recht Anspruch haben dürfte, wird auch dem deutschen Leser willkommen sein. Allerdings sind die hauptsächlichsten Entdeckungen Tesla's auf technischem Gebiete auch in den deutschen Elektrotechnikerkreisen durch die ausländischen und einheimischen Fachzeitschriften hinreichend bekannt geworden; es scheint aber doch, als ob bezüglich der Antheilnahme Tesla's an der Entwickelung des Princips des rotirenden magnetischen Feldes und seiner Verwerthung bei Motoren einige Irrthümer bestehen, die vielleicht durch das vorliegende Werk zerstreut werden. Jedenfalls ist es interessant zu erfahren, dass Tesla schon in der Mitte der achtziger Jahre betriebsfähige Motoren mit annehmbarem Wirkungsgrade nach diesem Principe baute und in seinem Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers im Mai 1888 diese Anwendung desselben in überaus anschaulicher Weise in allen ihren Einzelheiten darlegte.

Weniger Beachtung in Deutschland scheinen dagegen bis vor Kurzem die höchst merkwürdigen, das Interesse der Elektrotechniker, Physiker und Physiologen in gleicher Weise verdienenden Untersuchungen Tesla's über Wechselströme hoher Frequenz und hoher Spannung gefunden zu haben. Die deutschen physikalischen Journale haben s. Zt. von diesen Untersuchungen so gut wie gar nicht Notiz genommen und auch in den maassgeblichen elektrotechnischen Zeitschriften haben sie — wohl ihres zunächst rein suggestiven Charakters wegen — kaum diejenige Würdigung gefunden, welche ihrer Bedeutung

für den Fortschritt der Wissenschaft und möglicher Weise auch für die zukünftige Gestaltung der Beleuchtungstechnik entspricht. Erst in neuester Zeit ist durch Abhandlungen in physikalischen Zeitschriften und durch wissenschaftliche Vorträge vor gelehrten Körperschaften die Aufmerksamkeit der Physiker und Aerzte auf die höchst seltsamen Resultate dieser Untersuchungen hingelenkt und durch populäre Vorführungen das Interesse grösserer Kreise für das sogenannte Tesla'sche „Licht der Zukunft" wachgerufen worden. Wenn auch nicht durchweg principiell neu, sind die in dem vorliegenden Buche beschriebenen Versuche doch stets originell und anregend und von höchster Bedeutung für die Erkenntniss des Wesens der Elektricität. Unsere gewohnten Vorstellungen von den elektrischen Erscheinungen erfahren eine gründliche Erschütterung, wenn wir hören, dass bei diesen hochfrequenten Strömen Gase zu guten Elektricitäts-Leitern, Metalle dagegen zu Isolatoren werden, dass Lampen und Motoren mit nur einem einzigen Stromzuleitungsdraht vom Generator, ja selbst ohne einen solchen betrieben und Glühlampen ohne eine andere elektrische Verbindung mit der Stromquelle als durch den menschlichen Körper hindurch zum Leuchten gebracht werden können, dass der menschliche Körper Spannungen von einigen Hunderttausend Volt auszuhalten vermag, während Ströme niedriger Frequenz schon bei einigen Hundert Volt Spannung für die Gesundheit und das Leben gefährlich werden. Die genaue Beschreibung der Herstellung der zu den Versuchen benutzten Apparate und Hülfsmittel, die fast in allen Fällen erst erfunden werden mussten, die zahlreichen Winke bezüglich der zum Gelingen der Versuche anzuwendenden Vorsichtsmaassregeln, die eingehende Erörterung der Ergebnisse jedes einzelnen Versuches machen das Buch insbesondere auch für alle diejenigen zu einem willkommenen Rathgeber, die selbst in gleicher Richtung experimentiren wollen. Die vorliegende Ausgabe des Martin'schen Buches wird daher hoffentlich von vielen deutschen Lesern freudig begrüsst werden.

Der Uebersetzer ist bemüht gewesen, eine sachlich korrekte Wiedergabe des Inhalts mit einer möglichst wortgetreuen Uebertragung zu vereinigen. Die Uebersetzung bot besonders deshalb manche Schwierigkeiten, weil die den Hauptheil des Buches einnehmenden Vorträge über die Hochfrequenzerscheinungen von Tesla nach einzelnen Notizen frei gehalten wurden und daher nicht an allen Stellen das feste folgerechte Gefüge haben, welches man bei sorgfältig ausgearbeiteten, fein stylisirten Abhandlungen erwarten darf.

Berlin, im März 1895.

Inhaltsverzeichniss.

I. Abschnitt.

Mehrphasenströme.

II. Abschnitt.

Erscheinungen bei Strömen von hoher Frequenz und hoher Spannung.

III. Abschnitt.

Verschiedene Erfindungen und Schriften.

IV. Abschnitt.

Anhang. — Tesla's erste Phasenmotoren und sein mechanischer und elektrischer Oscillator.

I. Abschnitt.

Mehrphasenströme.

1. Kapitel.

Biographisches und Einleitung.

Als Einleitung zu der in diesem Buche enthaltenen Darlegung von Tesla's Untersuchungen und Entdeckungen dürften einige biographische Notizen angebracht und willkommen sein.

Nikola Tesla wurde im Jahre 1857 zu Smiljan im Komitat Lika, einem Grenzlande Oesterreich-Ungarns, aus serbischem Stamme, der gegen die Türkei und alle Eindringlinge so unaufhörlich um seine Freiheit kämpfte, geboren. Seine Familie ist eine alte und angesehene unter jenen Schweizern Osteuropas und sein Vater war ein redegewandter Geistlicher der griechischen Kirche. Ein Oheim ist gegenwärtig Metropolit in Bosnien. Seine Mutter war eine Frau von angeborenem Scharfsinn, die nicht nur an geschickten Arbeiten des gewöhnlichen Haushalts, sondern auch an der Anfertigung solcher mechanischen Geräthschaften wie Webstühlen, Buttereigefässen und anderen in einem ländlichen Hauswesen nothwendigen Apparaten ihre Freude hatte. Nikola wurde zunächst vier Jahre hindurch an der öffentlichen Schule in Gospic erzogen und besuchte dann drei Jahre lang die dortige Realschule. Nachher wurde er nach Carstatt in Kroatien geschickt, wo er drei Jahre hindurch seine Studien auf der Oberrealschule fortsetzte. Hier sah er zum ersten Male eine Dampflokomotive. Im Jahre 1873 machte er sein Abiturientenexamen und widmete sich, nachdem er einen Choleraanfall glücklich überstanden hatte, experimentellen Studien insbesondere auf dem Gebiete der Elektricität und des Magnetismus. Sein Vater hätte es gern gesehen, wenn er der Familientradition treu geblieben und in den Dienst der Kirche getreten wäre, allein sein angeborenes Talent war zu mächtig und so wurde es ihm gestattet, zur Beendigung seiner Studien und zu dem Zwecke, Lehrer der Mathematik und Physik zu werden, die polytechnische Schule zu Graz zu besuchen. Eine der dort zu Versuchen verwendeten Maschinen war eine als Motor benutzte Gramme'sche Dynamo. Trotz des strengen Beweises seines Lehrers, dass es unmöglich sei, eine Dynamomaschine ohne Kommutator oder Bürsten zu betreiben, liess sich Tesla doch nicht überzeugen, dass solches Zubehör nothwendig oder wünschenswerth sei. Mit raschem Blicke hatte er bereits gesehen,

dass ein Weg gefunden werden könne, um sich davon frei zu machen, und von jener Zeit an begann er an den Ideen zu arbeiten, die schliesslich in seinen Drehfeldmotoren zur Reife gelangten.

Im zweiten Jahre seines Grazer Studiums gab Tesla seine Absicht, Lehrer zu werden, auf und widmete sich der Ingenieurcarrière. Nach Beendigung seiner Studien kehrte er nach Hause zurück, gerade noch zeitig genug, um seinen Vater sterben zu sehen, und begab sich dann nach Prag und Budapest, um Sprachen zu studiren und sich für die Praxis des Ingenieurberufes so vollkommen wie möglich vorzubereiten. Kurze Zeit hindurch war er als Assistent der königlichen Telegrapheningenieur-Abtheilung thätig und trat dann mit Herrn Puskas, einem persönlichen und Familienfreunde, sowie mit andern Telephonunternehmern in Ungarn in Verbindung. Er machte einige Erfindungen auf dem Gebiete des Fernsprechwesens, sah sich aber in der Möglichkeit, sie auszunutzen, mannigfach beschränkt. Um ein weiteres Feld für seine Thätigkeit zu gewinnen, reiste er nach Paris und nahm dort bei einer der grossen elektrischen Beleuchtungsindustrie-Gesellschaften eine Stellung als Elektrotechniker an.

In dieser Zeit war es, und zwar schon im Jahre 1882, dass er anfing, ernsthafte und fortgesetzte Versuche zu machen, das Princip des rotirenden Feldes für betriebsfähige Apparate zu verwerthen. Von diesem Princip war er ganz und gar eingenommen, glaubte, dass es einen neuen Ausgangspunkt für die Entwickelung der Elektrotechnik bezeichne, und vermochte an nichts anderes zu denken. In der That, ohne die Vorstellungen einiger Freunde aus kaufmännischen Kreisen, welche ihn bestürmten, eine Gesellschaft zur Ausbeutung der Erfindung zu gründen, würde Tesla, damals ein junger Mann von wenig Welterfahrung, eine unmittelbare Gelegenheit gesucht haben, um seine Ideen zu publiciren, da dieselben seiner Meinung nach nicht nur als ein neuer und wesentlicher Fortschritt in der Elektricitätslehre beachtenswerth sondern auch bestimmt waren, auf das gesammte dynamoelektrische Maschinenwesen einen einschneidenden Einfluss auszuüben.

Schliesslich kam ihm der Gedanke, dass es das Beste sein würde, wenn er sein Glück in Amerika versuchte. In Frankreich war er mit vielen Amerikanern zusammengetroffen und im Umgange mit ihnen hatte er einsehen gelernt, dass es wünschenswerth sei, jeden neuen Gedanken auf dem Gebiete der Elektricität für die Praxis zu verwerthen. Er hörte ferner, wie bereitwillige Unterstützung in den Vereinigten Staaten jedem Erfinder zu Theil wird, der irgend ein neues und werthvolles Resultat gefunden hat. Mit charakteristischer Schnelligkeit wurde der Entschluss

gefasst und unter Verzichtleistung auf alle ihm in Europa winkenden Aussichten wandte er sogleich seine Schritte nach Westen.

In den Vereinigten Staaten angekommen, trat Tesla noch am selbigen Tage in den Edison-Werken ein. Eine solche Stellung war das Ziel seines Ehrgeizes gewesen, und man kann sich leicht den Vortheil und die Anregung vorstellen, die ihm aus der Verbindung mit Edison, für welchen Tesla stets die grösste Bewunderung gehegt hatte, erwuchs. Es war indessen unmöglich, dass Tesla, den es drängte, seine eigenen Ideen auszuführen und an seinen eigenen Erfindungen weiter zu arbeiten, in einer abhängigen wenn auch noch so angenehmen Stellung lange hätte verweilen können, und da seine Arbeiten anfingen Aufmerksamkeit zu erregen, so verliess er die Edison-Werke wieder, um sich mit einer Gesellschaft zu verbinden, welche ein auf einige seiner Erfindungen gegründetes System der Bogenlichtbeleuchtung ausbeuten sollte. Mit unermüdlichem Fleisse vervollkommnete er das System und sah es auf den Markt gebracht. Was aber während dieser ganzen Periode sein Denken und seine Zeit am meisten in Anspruch nahm, war seine alte Entdeckung des Princips des rotirenden Feldes für Wechselstrombetrieb und die Anwendung desselben auf Motoren, die jetzt in der ganzen Welt bekannt sind.

So fest überzeugt er auch selbst damals von der Wichtigkeit des Gegenstandes war, so stand er doch thatsächlich mit seinen Ideen fast ganz allein, da sich der Wechselstrom noch keine anerkannte Stellung erobert hatte. Nur wenige Elektrotechniker hatten denselben jemals angewendet und die Mehrzahl war mit seinem Werthe und selbst mit seinen Haupteigenthümlichkeiten vollständig unbekannt. Auch Tesla gelang es erst nach lange fortgesetzten Bemühungen und Versuchen, Wechselstromapparate mit annehmbarem Wirkungsgrade zu bauen. Dass er aber sein Ziel erreicht hatte, bewiesen die Versuche des Professor Anthony im Winter 1887/88, wo die Tesla-Motoren unter der Hand dieses hervorragenden Sachverständigen einen Wirkungsgrad ergaben, der demjenigen der Gleichstrommotoren gleichkam. Nunmehr stand der kommerciellen Verwerthung und Einführung solcher Motoren nichts mehr im Wege, ausser dass sie mit Rücksicht darauf gebaut sein mussten, in den Stromkreisen, wie sie zur Zeit bestanden und die in Amerika damals sämmtlich mit hoher Frequenz arbeiteten, verwendbar zu sein.

Die erste ausführliche Veröffentlichung seiner Arbeiten nach dieser Richtung — abgesehen von seinen Patenten — war ein (auf Anregung des Prof. Anthony und des Verfassers) vor dem American Institute of Electrical Engineers in New York im Mai 1888 gehaltener Vortrag, bei welchem er Motoren vorführte, die lange Zeit vorher im Betriebe gewesen

waren und seine Ueberzeugung, dass Bürsten und Kommutatoren nicht erforderlich seien, in glänzender Weise als richtig erwiesen. Aus dem Abschnitt dieses Buches, welcher den Tesla'schen Erfindungen zur Verwerthung der Mehrphasenströme gewidmet ist, wird man ersehen, wie vollkommen er von Anfang an die Grundidee bemeisterte und in wie mannigfacher Weise er dieselbe zur Anwendung brachte.

Nachdem er Jahre lang die vielen Vortheile bemerkt hatte, welche man mit Wechselströmen erreichen konnte, wurde Tesla naturgemäss dazu geführt, bei höheren Spannungen und höheren Wechselzahlen, als man sonst für gut befand, Versuche mit ihnen anzustellen. Bei seinem beständigen Streben, das Unbekannte auch bis ins kleinste Detail hinein zu verfolgen und zu erforschen, wurde er bald auf diesem Gebiete durch Resultate überraschendster Art belohnt. Der Verfasser dieses Buches, welcher von einigen dieser Versuche Kenntniss erhielt, veranlasste Tesla, dieselben vor dem American Institute of Electrical Engineers zu wiederholen. Es geschah dies im Mai 1891 in einem Vortrage, welcher ohne Frage einen neuen bemerkenswerthen Ausgangspunkt in der Elektricitätslehre bezeichnet und dessen Resultate bis heute noch nicht sämmtlich zur vollen Entfaltung gekommen sind. Der New Yorker Vortrag und seine beiden Nachfolger sind nebst einigen ergänzenden Bemerkungen in diesem Buche abgedruckt.

Tesla's Arbeiten reichen über die ausgedehnten Gebiete der Mehrphasenströme und der Hochspannungsbeleuchtung weit hinaus. Der Abschnitt „Verschiedenes" in diesem Buche enthält sehr viele andere Erfindungen über Bogenlichtbeleuchtung, Transformatoren, pyromagnetische Generatoren, thermomagnetische Motoren, Regulirung mittels dritter Bürste, Verbesserungen an Dynamomaschinen, neue Formen von Glühlampen, Elektricitätszähler, Kondensatoren, Unipolarmaschinen, die Umwandlung von Wechselströmen in Gleichströme u. s. w. Es braucht nicht erst gesagt zu werden, dass Tesla gegenwärtig mit vielen interessanten Ideen und Erfindungen beschäftigt ist, die erst in Zukunft werden veröffentlicht werden. Das vorliegende Buch behandelt nur seine bisher vorliegenden Arbeiten.

2. Kapitel.

Ein neues System von Wechselstrommotoren und Transformatoren.

Der gegenwärtige Abschnitt dieses Buches handelt von Mehrphasenströmen und denjenigen bis jetzt bekannt gewordenen Erfindungen Tesla's, in denen er die eine oder die andere Eigenthümlichkeit des umfassenden Princips des rotirenden Feldes oder der resultirenden auf den Anker ausgeübten Attraktion verwerthet hat. Wir brauchen die Elektriker nicht an das grosse Interesse zu erinnern, welches die erste Formulirung des Drehfeldprincips erweckte, noch auch bei der Wichtigkeit des Fortschrittes von einem einzigen Wechselstrom zu Methoden und Apparaten, welche sich auf mehr als einen gründen, zu verweilen. Indem wir der hier versuchten Darlegung des Gegenstandes die Bemerkung vorausschicken, dass der Zweck dieses Buches durchaus nicht polemischer oder kontroverser Natur ist, möge darauf hingewiesen werden, dass Tesla's Arbeiten bis zum heutigen Tage überhaupt nicht völlig verstanden oder praktisch ausgenutzt worden sind. Vielen Lesern dürfte die Analyse dessen, was er auf diesem Gebiet geleistet hat, Aufklärung bringen, während sie zu gleicher Zeit die wundervolle Geschmeidigkeit und Tragweite der dabei zur Anwendung gelangten Principien veranschaulichen wird. Man wird sehen, dass, wie eben angedeutet, Tesla nicht bei einem blossen rotirenden Felde stehen blieb, sondern dass er die Verschiebung der resultirenden Anziehung der Magnete umfassend behandelte. Man wird sehen, dass er das Mehrphasensystem in allen Einzelheiten und mit mancherlei Abänderungen zu entwickeln bemüht war; dass er die Theorie der Motoren aufstellte, welche Ströme von verschiedener Phase im Anker mit Gleichströmen in den Feldmagneten verwenden; dass er zuerst die Idee eines Ankers mit massivem Eisenkern und in sich selbst geschlossenen Spulen darlegte und zur Ausführung brachte; dass er sowohl synchrone wie asynchrone Motoren baute; dass er erklärte und veranschaulichte, wie Maschinen gewöhnlicher Konstruktion seinem System angepasst werden könnten; dass er Kondensatoren in den Feldmagnet- und Ankerstromkreisen anwendete und den Fundamentalprincipien bis auf den Grund nachspürte, indem er jedes Detail, auf welches ihn sein erfinderischer Scharfsinn hinführte, ausprobirte und, je nachdem, annahm oder verwarf.

Gegenwärtig, wo sich die Ansichten so sehr zu Gunsten geringerer Wechselzahlen geändert haben, verdient besondere Beachtung, dass Tesla

schon sehr früh die Wichtigkeit geringer Frequenz bei Motoren erkannt hatte. In der That waren seine ersten öffentlich ausgestellten Motoren — welche, wie Professor Anthony durch seine Versuche im Winter 1887/88 nachwies, den Gleichstrommotoren in Bezug auf Wirkungsgrad, Leistung und Anlaufszugkraft gleichkamen — für niedrige Frequenz gebaut. Da sich indessen die Nothwendigkeit ergab, diese Motoren in den bestehenden, hohe Wechselzahlen benutzenden Stromkreisen zu verwenden, so musste Tesla damit rechnen, und man wird aus unserer Uebersicht erkennen, wie ausserordentlich fruchtbar sich Tesla in der Auffindung von Hülfsmitteln hierfür erwies. Dass aber Tesla, nachdem er alle Möglichkeiten auf diesem Gebiete erschöpft hatte, zu niedrigen Frequenzen zurückkehrt und auf seiner Meinung bezüglich der Ueberlegenheit seines Mehrphasensystems bei Wechselstromvertheilung beharrt, darf bei der Stärke seiner so oft ausgesprochenen Ueberzeugung in diesem Punkte nicht überraschen. Es ist dies in der That bezeichnend und kann als ein Hinweis auf die wahrscheinliche Entwickelung betrachtet werden, die wir demnächst zu erwarten haben.

Gelegentlich ist auf den Wirkungsgrad der Drehfeldmotoren hingewiesen worden, ein sehr wichtiger Gegenstand, bei dem hier länger zu verweilen jedoch nicht in unserer Absicht liegt. Professor Anthony behauptete in seinen Bemerkungen vor dem American Institute of Electrical Engineers im Mai 1888 bezüglich der beiden kleinen damals vorgeführten und von ihm untersuchten Tesla-Motoren, dass der eine einen Wirkungsgrad von etwa 50 % und der andere einen solchen von etwas über 60 % ergab. Im Jahre 1889 wurde aus Pittsburg über einige Versuche berichtet, welche Tesla und Albert Schmid mit Motoren bis zu 10 PS und von ca. 385 kg Gewicht angestellt hatten. Diese Maschinen zeigten einen Wirkungsgrad von nahezu 90 %. Bei einigen grösseren Motoren ergab sich, dass sich mit dem Dreileitersystem ein Wirkungsgrad bis zu 94 und 95 % erreichen liesse. Diese interessanten Zahlen, welche natürlich durch genauere und solche aus späterer Zeit ergänzt werden könnten, sind hier angeführt, um zu beweisen, dass die Leistungsfähigkeit des Systems nicht erst in der heutigen Zeit eine solche geworden ist, um eine kommercielle Verwerthung desselben zu gestatten. Eine Erfindung ist darum nicht weniger schön, weil ihre praktische Verwerthung auf sich warten lässt, trotzdem muss es jedem Erfinder ein Vergnügen sein zu wissen, dass die von ihm vertretenen Ideen der Welt zum wesentlichen Nutzen sind.

---

3. Kapitel.

Das Tesla'sche rotirende magnetische Feld. Motoren mit geschlossenen Leitern. — Synchrone Motoren. Drehfeldtransformatoren.

Die beste Schilderung, welche man von den Versuchen und Erfolgen Tesla's mit dem rotirenden magnetischen Felde geben kann, findet sich in Tesla's kurzem Vortrage über sein Drehstrom-Mehrphasensystem, welchen er unter dem Titel „Ein neues System von Wechselstrommotoren und Transformatoren" im Mai 1888 vor dem American Institute of Electrical Engineers in New York hielt. Thatsächlich — und dies wird man durch Nachlesen des Vortrages bestätigt finden — nahm sich Tesla in jenem Vortrage nicht die Mühe, alle seine Arbeiten zu beschreiben. In Wirklichkeit behandelte er nur die wenigen in der Ueberschrift dieses Kapitels aufgezählten Gegenstände. Tesla's Zurückhaltung hatte ohne Zweifel zum grossen Theile ihren Grund darin, dass er sich den Wünschen anderer, mit denen er associirt war, fügen musste. Es mag indessen erwähnt werden, dass der Verfasser dieses Buches, welcher die Motoren im Betriebe gesehen hatte und der damals Vorsitzender des Sitzungsausschusses des Instituts war, grosse Mühe gehabt hatte, um Tesla überhaupt zu einem Vortrage vor dem Institut zu bewegen. Tesla war überarbeitet und krank und zeigte einen grossen Widerwillen gegen eine Ausstellung seiner Motoren, doch liess er sich schliesslich überreden. Der Vortrag wurde in der Nacht vor der Versammlung mit Bleistift in aller Eile und unter dem eben angedeuteten Drucke niedergeschrieben.

In diesem Vortrage werden gelegentlich zwei besondere Formen von Motoren erwähnt, welche nicht zu der hier zu betrachtenden Gruppe gehören. Diese beiden Formen waren 1) ein Motor, dessen einer Stromkreis in Hintereinanderschaltung mit einem Transformator und dessen anderer Stromkreis im Sekundärkreise des Transformators sich befindet; 2) ein Motor, dessen Ankerstromkreis mit dem Generator verbunden ist und dessen Feldspulen in sich selbst geschlossen sind. Der Vortrag, welcher einige Haupteigenthümlichkeiten des Tesla'schen Systems, nämlich das rotirende magnetische Feld, Motoren mit geschlossenen Leitern, synchrone Motoren und Drehfeldtransformatoren behandelte, lautete in seinem wesentlichsten Theile folgendermassen.

„Der Gegenstand, welchen ich gegenwärtig Ihnen vorzutragen das Vergnügen habe, besteht in einem neuen System elektrischer Kraftvertheilung und Kraftübertragung mittels Wechselströmen, welches besondere Vortheile namentlich für Motoren darbietet und von dem ich überzeugt bin, dass es die Ueberlegenheit der Verwendung solcher Ströme zur Kraftübertragung ohne weiteres ersichtlich machen und darthun wird, dass viele bisher unerreichbaren Resultate sich mit seiner Hülfe erreichen lassen, Resultate, die im praktischen Betriebe solcher Systeme sehr erwünscht sind und mit Gleichströmen nicht verwirklicht werden können.

Bevor ich auf eine ausführliche Beschreibung dieses Systems eingehe, erachte ich es für nothwendig, einige Bemerkungen über gewisse bei Gleichstromgeneratoren und -Motoren bestehende Verhältnisse zu machen, die, obwohl allgemein bekannt, doch häufig ausser Acht gelassen werden.

In unsern Dynamomaschinen erzeugen wir bekanntlich Wechselströme, welche wir mit Hülfe eines Kommutators, einer komplicirten Vorrichtung und, wie man mit Recht behaupten kann, der Quelle der meisten beim Betriebe der Maschinen vorkommenden Störungen, gleichrichten. Nun können die auf diese Weise gleichgerichteten Ströme in dem Motor nicht benutzt werden, sondern sie müssen — ebenfalls mittels einer ähnlichen unzuverlässigen Vorrichtung — wiederum in ihren ursprünglichen Zustand, d. h. in Wechselströme umgewandelt werden. Die Funktion des Kommutators ist eine rein äusserliche und beeinflusst in keiner Weise die innere Thätigkeit der Maschinen. In Wirklichkeit sind daher alle Maschinen Wechselstrommaschinen und die von ihnen erzeugten Ströme erscheinen als Gleichströme nur in dem äusseren Stromkreise während ihres Ueberganges vom Generator zum Motor. Einfach mit Rücksicht auf diese Thatsache würden sich Wechselströme als eine direktere Anwendung elektrischer Energie empfehlen und die Verwendung von Gleichströmen würde nur gerechtfertigt sein, wenn man Dynamomaschinen hätte, welche primär solche Ströme erzeugen, und Motoren, welche direkt von letzteren bethätigt würden.

Die Wirkung des Kommutators an einem Motor ist aber eine zweifache: Erstens kehrt er die Ströme durch den Motor um und zweitens bewirkt er automatisch eine fortschreitende Verschiebung der Pole eines seiner magnetischen Elemente. Nimmt man also an, dass die beiden überflüssigen Operationen in den Systemen, d. h. die Gleichrichtung der Wechselströme beim Generator und die Umkehrung der Gleichströme beim Motor, eliminirt würden, so wäre es, um eine Drehung des Motors herbeizuführen, noch erforderlich, ein Fortrücken der Pole eines seiner

Elemente hervorzubringen, und es erhebt sich von selbst die Frage: Wie kann man diese Operation durch die direkte Wirkung von Wechselströmen bewerkstelligen? Ich werde nun zeigen, wie man dieses Resultat erreichen kann.

Bei dem ersten Versuch war ein Trommelanker mit zwei zu einander rechtwinkligen Spulen versehen und die Enden dieser Spulen waren mit zwei Paaren isolirter Kontaktringe wie gewöhnlich verbunden. Dann

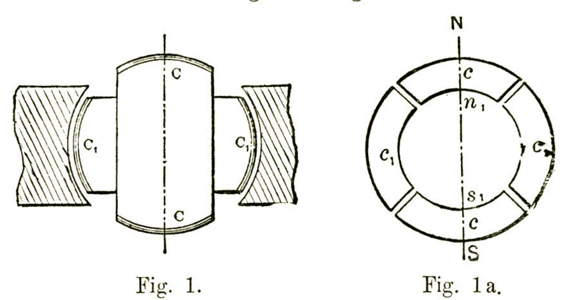


Fig. 1. Fig. 1a.

wurde ein Ring aus dünnen von einander isolirten Eisenblechplatten hergestellt und mit vier Spulen umwickelt, von denen je zwei gegenüberliegende so mit einander verbunden wurden, dass freie Pole an diametral gegenüberliegenden Seiten des Ringes entstanden. Die übrigbleibenden freien Enden der Spulen wurden dann mit den Kontaktringen des Stromerzeugerankers verbunden, so dass zwei unabhängige Stromkreise, wie in Fig. 9 angedeutet, gebildet wurden. Wir wollen nun sehen, welche Resultate man mit dieser Kombination erzielen kann. Mit Bezug hierauf verweise ich auf die Diagramme Fig. 1 bis 8a. Wird das Feld des Generators unabhängig erregt, so erzeugt die Rotation des Ankers Ströme in den Spulen CC_1, welche in bekannter Weise nach Stärke und Richtung variiren. In der in Fig. 1 dargestellten Lage ist der Strom in der Spule C gleich Null, während Spule C_1 von ihrem Maximalstrom durchflossen wird, und die Verbindungen mögen derart sein, dass der Ring durch die Spulen c_1 c_1 in der durch die Buchstaben NS in Fig. 1a angedeuteten Weise magnetisirt wird, während die magnetisirende Wirkung der Spulen $c\,c$ Null ist, da diese Spulen in dem Stromkreis der Spule C enthalten sind.

In Fig. 2 sind die Ankerspulen in einer vorgeschritteneren Lage, nämlich nach Vollendung einer Achtelumdrehung, dargestellt. Fig. 2a veranschaulicht den entsprechenden magnetischen Zustand des Ringes. In diesem Augenblick erzeugt die Spule C_1 einen Strom von derselben Richtung wie vorher, aber von geringerer Stärke, welcher die Pole $n_1\, s_1$ in dem Ringe hervorbringt; die Spule C erzeugt ebenfalls einen Strom

von gleicher Richtung und die Verbindungen mögen derart sein, dass die Spulen *cc* die Pole *ns* hervorbringen, wie in Fig. 2a dargestellt. Die resultirende Polarität wird durch die Buchstaben *NS* angedeutet

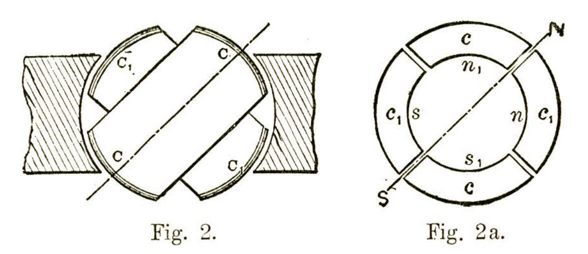


Fig. 2. Fig. 2a.

und man wird bemerken, dass die Pole des Ringes um ein Achtel seiner Peripherie verschoben sind.

In Fig. 3 hat der Anker ein Viertel einer Umdrehung vollendet. In dieser Phase hat der Strom in der Spule *C* seinen grössten Werth und eine solche Richtung, dass die Pole *NS* in Fig. 3a entstehen, während der Strom in der Spule C_1 Null ist, da sich diese Spule in

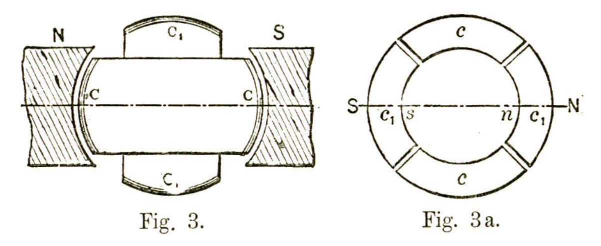


Fig. 3. Fig. 3a.

ihrer neutralen Lage befindet. Die Pole *NS* in Fig 3a sind somit um ein Viertel des Ringumfanges verschoben.

Fig. 4 zeigt die Spulen *CC* in einer noch weiter vorgerückten Lage; der Anker hat drei Achtel einer Umdrehung vollendet. In diesem

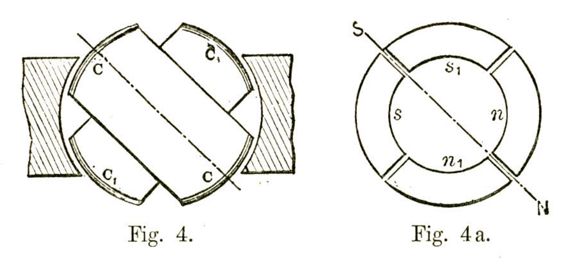


Fig. 4. Fig. 4a.

Moment erzeugt die Spule *C* noch einen Strom von der nämlichen Richtung wie zuvor, aber von geringerer Stärke, welcher die verhältnissmässig schwächeren Pole *ns* in Fig. 4a hervorbringt. Der Strom in

der Spule C_1 ist von der gleichen Stärke, aber von entgegengesetzter Richtung. Er bewirkt daher, dass auf dem Ringe die Pole $n_1 s_1$, wie angedeutet, entstehen, und es resultirt eine Polarität NS, wobei die Pole nunmehr um drei Achtel der Peripherie des Ringes verschoben sind.

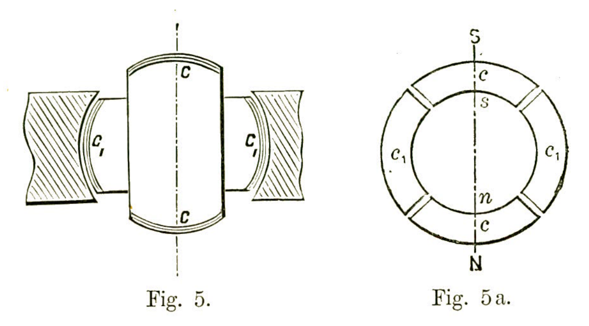


Fig. 5. Fig. 5a.

In Fig. 5 ist die Hälfte einer Umdrehung des Ankers vollendet und das resultirende magnetische Verhalten des Ringes ist in Fig. 5a angedeutet. Nunmehr ist der Strom in der Spule C Null, während die Spule C_1 ihren Maximalstrom enthält, welcher von derselben Richtung ist wie vorher; die magnetisirende Wirkung rührt daher von den

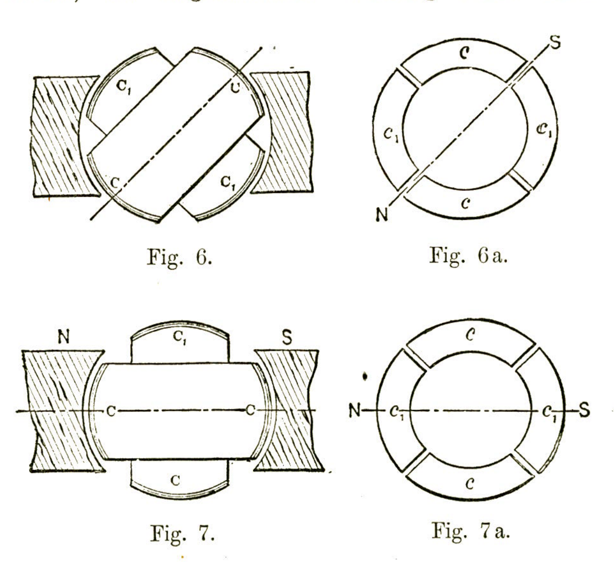


Fig. 6. Fig. 6a.

Fig. 7. Fig. 7a.

Spulen $c_1 c_1$ allein her und aus Fig. 5a ist ersichtlich, dass die Pole NS um die Hälfte des Ringumfanges vorgerückt sind. Während der nächsten halben Umdrehung wiederholen sich die Erscheinungen, wie in den Fig. 6—8a dargestellt ist.

Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass während einer Umdrehung des Ankers die Pole des Ringes einmal um seine ganze Peripherie herum verschoben werden, und da jede Umdrehung gleiche Wirkungen hervorruft, so ist ein rasches Herumlaufen der Pole in Uebereinstimmung mit der Rotation des Ankers die Folge. Werden die Verbindungen eines der beiden Stromkreise auf dem Ringe umgekehrt, so geht die Verschiebung der Pole nach der entgegengesetzten Richtung vor sich, aber die Operation ist genau dieselbe. Anstatt vier Drähte zu benutzen, kann man

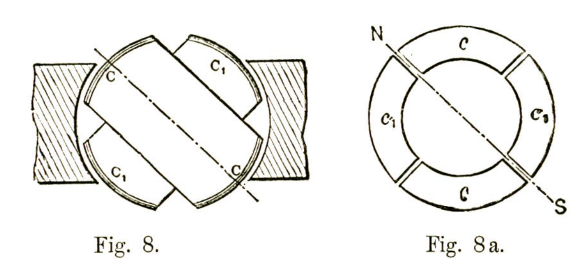


Fig. 8. Fig. 8a.

mit gleichem Erfolge drei Drähte verwenden, indem einer die gemeinsame Rückleitung für beide Stromkreise bildet.

Diese Rotation oder dieses Herumlaufen der Pole äussert sich in einer Reihe merkwürdiger Erscheinungen. Wenn eine an Zapfen leicht beweglich aufgehängte Scheibe aus Stahl oder anderem magnetischen Metall dem Ringe genähert wird, so wird dieselbe in rasche Drehung versetzt, deren Richtung mit der Lage der Scheibe variirt. Merkt man sich z. B. die Drehungsrichtung ausserhalb des Ringes, so findet man, dass sich die Scheibe innerhalb des Ringes in entgegengesetzter Richtung dreht, während sie unbeeinflusst bleibt, wenn man sie in eine zum Ringe symmetrische Lage bringt. Dies erklärt sich leicht. Jedesmal, wenn ein Pol sich nähert, inducirt derselbe in dem nächstgelegenen Punkte der Scheibe einen entgegengesetzten Pol und es erfolgt eine Anziehung dieses Punktes. Infolge dessen wird, sobald der Pol sich wieder von der Scheibe fortbewegt, ein tangentialer Zug auf die letztere ausgeübt und das Resultat ist, da sich diese Wirkung beständig wiederholt, eine mehr oder weniger schnelle Rotation der Scheibe. Da die Drehkraft hauptsächlich auf den dem Ringe am nächsten liegenden Theil der Scheibe ausgeübt wird, so geschieht die Rotation ausserhalb und innerhalb oder rechts und links vom Ringe bezüglich in entgegengesetzten Richtungen (Fig. 9). Liegt die Scheibe symmetrisch zu dem Ringe, so erfolgt keine Rotation, da die Drehkräfte auf den gegenüberliegenden Seiten der Scheibe gleich sind. Die Wirkung beruht auf der magnetischen Trägheit des Eisens.

Aus diesem Grunde wird eine Scheibe aus hartem Stahl viel stärker beeinflusst als eine solche aus weichem Eisen, da letzteres sehr schnell seinen Magnetismus zu ändern vermag. Eine solche Scheibe hat sich mir bei allen diesen Untersuchungen als ein sehr nützlicher Apparat erwiesen, da ich mit Hülfe derselben jede Unregelmässigkeit in der Wirkung entdecken konnte.

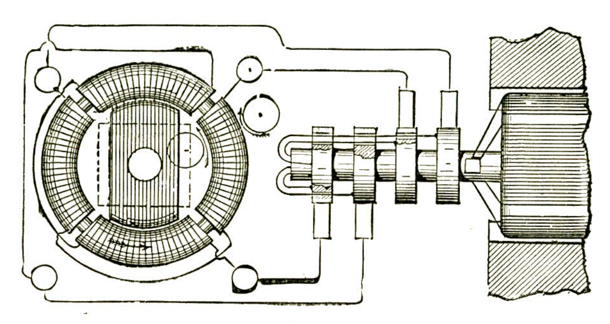


Fig. 9.

Eine merkwürdige Wirkung wird auch auf Eisenfeilspähne ausgeübt. Bringt man solche auf ein Blatt Papier und hält dasselbe aussen dicht an den Ring, so gerathen sie in eine vibrirende Bewegung, bleiben aber an derselben Stelle, wenn auch das Papier hin und her bewegt wird. Hebt man aber das Papier bis zu einer gewissen Höhe, welche von der Stärke der Pole und der Geschwindigkeit der Rotation abhängig zu sein scheint, so werden sie in einer Richtung fortbewegt, die der angenommenen Bewegungsrichtung der Pole stets entgegengesetzt ist. Wird das Papier mit dem Eisenfeilicht flach auf den Ring gelegt und der Strom plötzlich eingeschaltet, so kann man leicht das Vorhandensein eines magnetischen Wirbels beobachten.

Um die vollständige Analogie zwischen dem Ringe und einem rotirenden Magneten darzuthun, wurde ein stark erregter Elektromagnet durch mechanische Kraft rotirt, wobei den oben erwähnten in jeder Hinsicht identische Erscheinungen beobachtet werden konnten.

Offenbar bringt die Rotation der Pole entsprechende induktive Wirkungen hervor und kann benutzt werden, um in einem geschlossenen Leiter, der in die Wirkungssphäre der Pole gebracht wird, Ströme zu erzeugen. Zu dem Ende ist es zweckmässig, einen Ring mit zwei Systemen von übereinanderliegenden Wickelungen zu versehen, die bezüglich den primären und sekundären Stromkreis bilden, wie aus Fig. 10 ersichtlich ist. Um das ökonomischste Resultat zu erzielen, muss der magne-

tische Kreis vollständig geschlossen sein; behält man nur dieses Ziel im Auge, so kann man im Uebrigen die Konstruktion beliebig abändern.

Die auf die Sekundärspulen ausgeübte induktive Wirkung rührt hauptsächlich her von der Verschiebung oder Bewegung des Magnetismus; es können aber auch Ströme in den Stromkreisen infolge der Variationen in der Stärke der Pole erzeugt werden. Durch geeignete Konstruktion des Generators und passende Bestimmung der magnetisirenden Wirkung der Primärspulen kann jedoch das letztere Element zum Verschwinden gebracht werden. Würde die Intensität der Pole konstant erhalten, so würde die Wirkung des Apparates eine vollkommene sein und man erhielte dasselbe Resultat, als ob die Verschiebung mittels eines Kommutators mit unendlich vielen Streifen bewirkt würde. In einem solchen Falle kann die theoretische Beziehung zwischen der erregenden Wirkung jeder Gruppe von Primärspulen und ihrer resultirenden magnetischen Wirkung dargestellt werden durch die Gleichung eines Kreises, dessen Mittelpunkt mit dem Anfangspunkt eines rechtwinkligen Coordinatensystems zusammenfällt und in welchem der Radius die Resultante und die Coordinaten eines Punktes des Kreises die beiden Komponenten derselben darstellen. Diese letzteren sind dann bezüglich der Sinus und Cosinus des Winkels α zwischen dem Radius und einer der Achsen ox. Mit Bezug auf Fig. 11 haben wir $r^2 = x^2 + y^2$, wo $x = r \cos \alpha$ und $y = r \sin \alpha$.

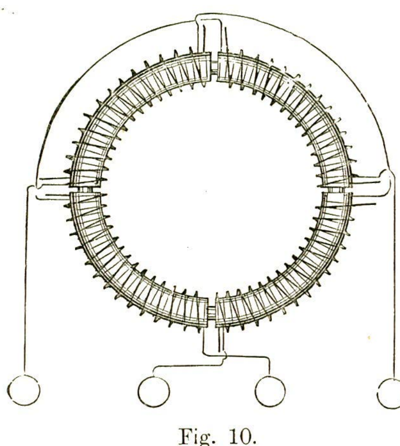


Fig. 10.

Nimmt man an, dass die magnetisirende Wirkung jedes Spulensystems im Transformator dem Strome proportial sei, was für schwache Magnetisirungen erlaubt ist, so ist $x = Kc$ und $y = Kc'$, wo K eine Konstante ist und c und c' die Ströme in den beiden Spulensystemen bezeichnen. Nimmt man ferner das Feld des Generators als gleichförmig an, so hat man für konstante Geschwindigkeit (Fig. 12):

$$c' = K' \sin \alpha, \quad c = K' \sin (90^0 + \alpha) = K' \cos \alpha,$$

wo K' eine Konstante ist. Daher

$$x = Kc = KK' \cos \alpha$$
$$y = Kc' = KK' \sin \alpha, \text{ und}$$
$$KK' = r,$$

d. h. für ein gleichförmiges Feld liefert die rechtwinklige Anordnung der

beiden Spulen das theoretische Resultat und die Intensität der sich verschiebenden Pole ist konstant. Aus $r^2 = x^2 + y^2$ folgt aber, dass für $y = 0$ $r = x$ ist; es ergiebt sich somit, dass die vereinigte magnetisirende

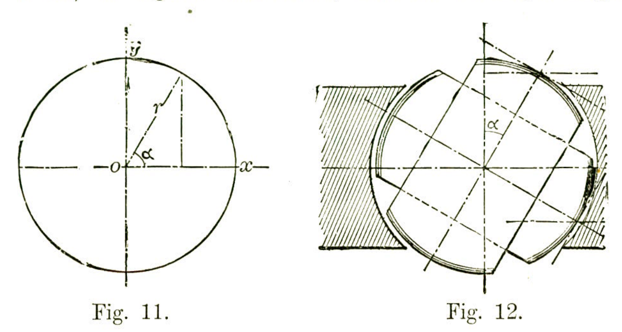


Fig. 11. Fig. 12.

Wirkung beider Spulensysteme der Maximalwirkung eines Systems gleich sein sollte. Bei Transformatoren und einer gewissen Klasse von Motoren ist die Fluktuation der Pole von keiner grossen Bedeutung, bei einer andern Klasse dieser Motoren aber ist es wünschenswerth, dass dieses theoretische Resultat erreicht wird.

Bei der Anwendung dieses Princips auf die Konstruktion von Motoren haben sich zwei typische Motorformen ergeben: Erstens eine Form, welche beim Angehen eine verhältnissmässig geringe Drehkraft besitzt, aber bei allen Belastungen eine vollkommen gleichmässige Geschwindigkeit beibehält; Motoren dieser Art sind synchron genannt worden; zweitens eine Form, welche beim Angehen eine grosse Drehkraft entwickelt, während die Geschwindigkeit von der Belastung abhängt.

Diese Motoren können auf drei verschiedene Arten bethätigt werden: 1) durch die Wechselströme der Stromquelle allein; 2) durch eine vereinigte Wirkung dieser und inducirter Ströme; 3) durch die vereinigte Wirkung von Wechsel- und Gleichströmen.

Die einfachste Form eines synchronen Motors erhält man, wenn man einen untertheilten mit Polvorsprüngen versehenen Ring mit vier Spulen bewickelt und dieselben in der vorher angegebenen Weise verbindet. Eine eiserne Scheibe, von welcher auf jeder Seite ein Theil weggeschnitten ist, kann als Anker benutzt werden. Ein solcher Motor ist in Fig. 9 dargestellt. Ist die Scheibe so angeordnet, dass sie innerhalb des Ringes in nächster Nähe der Polvorsprünge frei rotiren kann, so wird sie offenbar, sobald die Pole fortbewegt werden, infolge ihres Strebens, sich derart zu stellen, dass sie die grösste Zahl von Kraftlinien aufnimmt, der Bewegung der Pole folgen und ihre Bewegung wird — wohlverstanden bei der besonderen in Fig. 9 dargestellten Disposition, bei welcher der

Anker bei jeder Umdrehung zwei Stromimpulse in jedem der Stromkreise hervorbringt — mit derjenigen des Ankers des Stromerzeugers synchron sein. Natürlich wird, wenn durch eine Umdrehung des Ankers eine grössere Anzahl von Stromimpulsen hervorgebracht wird, die Geschwindigkeit des Motors entsprechend vergrössert werden. Erwägt man, dass die auf die Scheibe ausgeübte Attraktion am grössten ist, wenn dieselbe sich dicht an den Polen befindet, so folgt, dass ein solcher Motor bei allen Belastungen innerhalb der Grenzen seiner Leistungsfähigkeit genau dieselbe Geschwindigkeit beibehält.

Um das Angehen zu erleichtern, kann die Scheibe mit einer in sich geschlossenen Spule versehen werden. Der Vortheil, welcher durch eine solche Spule erzielt wird, ist evident. Beim Anlaufen wird durch die in der Spule inducirten Ströme die Scheibe stark magnetisirt und die auf dieselbe durch den Ring ausgeübte Attraktion vermehrt, und da in der Spule solange Ströme inducirt werden, als die Geschwindigkeit des Ankers geringer ist als die der Pole, so kann durch einen solchen Motor, auch wenn seine Geschwindigkeit noch unter der normalen liegt, erhebliche Arbeit geleistet werden. Ist die Intensität der Pole konstant, so werden in der Spule keine Ströme erzeugt werden, wenn der Motor bei seiner normalen Geschwindigkeit läuft.

Anstatt die Spule kurzzuschliessen, kann man ihre Enden mit zwei isolirten Schleifringen verbinden und diesen aus einer geeigneten Stromquelle Gleichstrom zuführen. Eine zweckmässige Methode, einen solchen Motor anlaufen zu lassen, besteht darin, dass man die Spule in sich kurzschliesst, bis die normale Geschwindigkeit erreicht oder nahezu erreicht ist, und dann den Gleichstrom einschaltet. Ist die Scheibe durch einen Gleichstrom sehr stark magnetisirt, so ist es möglich, dass der Motor nicht angeht; ist sie dagegen nur schwach oder allgemein derart magnetisirt, dass die magnetisirende Wirkung des Ringes noch überwiegt, so wird derselbe angehen und seine normale Geschwindigkeit erreichen. Ein solcher Motor behält bei allen Belastungen absolut dieselbe Geschwindigkeit bei. Es hat sich ferner ergeben, dass, falls die bewegende Kraft des Generators nicht übermässig gross ist, durch Bremsung des Motors die Geschwindigkeit des Generators in Synchronismus mit derjenigen des Motors geringer wird. Es ist eine charakteristische Eigenthümlichkeit dieser Motorform, dass der Motor nicht durch Umkehrung des durch die Spule gehenden Gleichstromes umgesteuert werden kann.

Der Synchronismus dieser Motoren kann experimentell auf mannigfache Weise nachgewiesen werden. Für diesen Zweck wendet man am besten einen Motor an, der aus einem feststehenden Feldmagneten und

einem innerhalb desselben drehbar angebrachten Anker, wie ihn Fig. 13 darstellt, besteht. In diesem Falle veranlasst die Verschiebung der Pole des Ankers eine Drehung des letzteren in entgegengesetzter Richtung. Es ergiebt sich hieraus, dass, wenn die normale Geschwindigkeit erreicht ist, die Pole des Ankers feste Lagen bezüglich des Feldmagnets annehmen, und der letztere durch Induktion magnetisirt wird und an jedem der Polschuhe einen deutlichen Pol zeigt. Wird ein Stück weichen Eisens

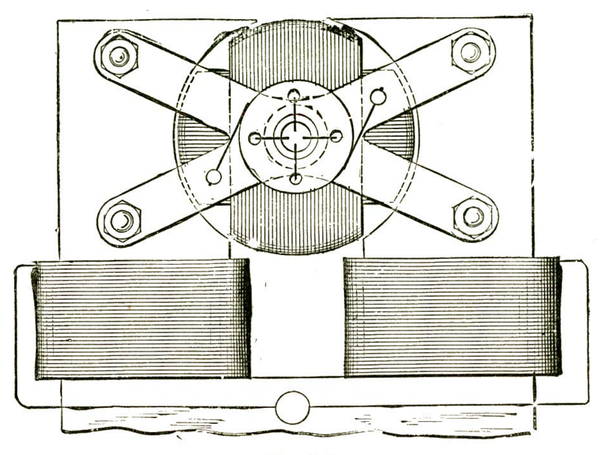


Fig. 13.

dem Feldmagnet genähert, so wird dasselbe anfangs mit einer durch die Umkehrungen der Polarität des Magneten hervorgebrachten rasch vibrirenden Bewegung angezogen, sobald indessen die Geschwindigkeit des Ankers zunimmt, werden die Schwingungen weniger und weniger häufig, bis sie schliesslich ganz aufhören. Alsdann wird das Eisenstück zwar schwach, aber dauernd angezogen, ein Beweis dafür, dass der Synchronismus erreicht ist und der Feldmagnet durch Induktion magnetisirt wird.

Auch die Scheibe kann für den Versuch benutzt werden. Wird dieselbe dicht an den Anker gehalten, so dreht sie sich so lange, als die Geschwindigkeit der Rotation der Pole diejenige des Ankers übersteigt; ist aber die normale Geschwindigkeit erreicht oder nahezu erreicht, so hört sie auf sich zu drehen und wird dauernd angezogen.

Ein roher aber anschaulicher Versuch kann mit einer Glühlampe angestellt werden. Schaltet man die Lampe in den Stromkreis des Gleichstromgenerators und in Serie mit der Magnetspule, so beobachtet man in dem Lichte infolge der beim Angehen in der Spule erzeugten Induktionsströme rasche Zuckungen; wächst aber die Geschwindigkeit, so

treten die Zuckungen in längeren Zwischenräumen auf, bis sie vollständig verschwinden und dadurch anzeigen, dass der Motor seine normale Geschwindigkeit erreicht hat.

Ein Telephonempfänger stellt ein sehr empfindliches Instrument dar; wird derselbe in irgend einen Stromkreis des Motors eingeschaltet, so kann man an dem Verschwinden der inducirten Ströme leicht wahrnehmen, wann der Synchronismus erreicht ist.

Bei Motoren der synchronen Type ist es wünschenswerth, die Quantität des sich verschiebenden Magnetismus konstant zu erhalten, besonders wenn die Magnete nicht gehörig untertheilt sind.

Um bei diesen Motoren eine Drehkraft zu erhalten, bedurfte es langen Nachdenkens. Zur Erreichung dieses Resultats musste man eine solche Einrichtung treffen, dass, während die Pole des einen Elements des Motors durch die Wechselströme der Stromquelle verschoben werden, die an den andern Elementen erzeugten Pole ohne Rücksicht auf die Geschwindigkeit des Motors stets in der richtigen Lage zu den ersteren bleiben. Eine derartige Bedingung ist bei einem Gleichstrommotor erfüllt; bei einem synchronen Motor der beschriebenen Art jedoch ist diese Bedingung nur erfüllt, wenn die Geschwindigkeit normal ist.

Der beabsichtigte Zweck wurde dadurch erreicht, dass in den Ring ein geeignet untertheilter cylindrischer Eisenkern gesetzt wurde, der mit mehreren von einander unabhängigen in sich geschlossenen Spulen bewickelt war. Zwei rechtwinklig zu einander stehende Spulen wie in Fig. 14 reichen aus, indessen wird vortheilhaft eine grössere Anzahl angewendet. Aus dieser Disposition folgt, dass, wenn die Pole des Ringes verschoben werden, in den geschlossenen Ankerspulen Ströme entstehen. Diese Ströme sind am stärksten an oder nahe an den Punkten grösster Kraftliniendichte und ihre Wirkung besteht darin, dass sie an dem Anker Pole senkrecht zu denen des Ringes (wenigstens der Theorie nach) erzeugen; und da diese Wirkung von der Geschwindigkeit völlig unabhängig ist, d. h. soweit die Lage der Pole in Betracht kommt, so wird auf die Peripherie des Ankers ein beständiger Zug ausgeübt. In manchen Beziehungen sind diese Motoren den Gleichstrommotoren ähnlich. Beim Einschalten der Belastung wird die Geschwindigkeit und auch der Wider-

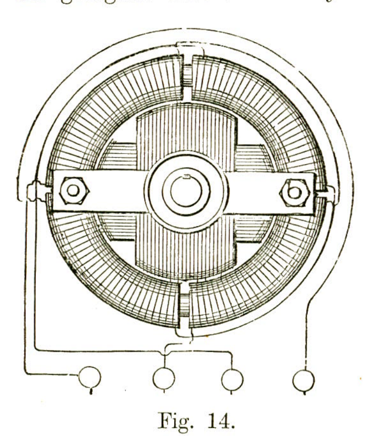


Fig. 14.

stand des Motors verringert und mehr Strom durch die Erregungsspulen geschickt, wodurch die Drehkraft vergrössert wird. Wird die Belastung abgenommen, so nimmt die elektromotorische Gegenkraft zu und es geht weniger Strom durch die Primär- oder Erregungsspulen. Ohne jede Belastung ist die Geschwindigkeit sehr nahe gleich derjenigen der sich verschiebenden Pole des Feldmagneten.

Man wird finden, dass die Drehkraft bei diesen Motoren derjenigen der Gleichstrommotoren völlig gleichkommt. Die Kraft scheint am grössten zu sein, wenn weder Anker noch Feldmagnet irgend welche Vorsprünge haben; da aber bei solchen Anordnungen das Feld nicht koncentrirt werden kann, so wird man voraussichtlich die besten Resultate erhalten, wenn man Polvorsprünge nur an einem der Elemente belässt. Allgemein kann man sagen, dass die Vorsprünge das Drehmoment verringern und eine Tendenz zum Synchronismus hervorrufen.

Eine charakteristische Eigenthümlichkeit dieser Art Motoren ist, dass sie ihre Bewegungsrichtung sehr schnell umkehren. Dies folgt aus der besonderen Wirkung des Motors. Man denke sich den Anker rotirend und die Drehungsrichtung der Pole umgekehrt. Der Apparat stellt dann eine Dynamomaschine dar, deren Antriebskraft das in dem Anker aufgespeicherte Drehmoment und deren Geschwindigkeit die Summe der Geschwindigkeiten des Ankers und der Pole ist.

Erwägt man nun, dass die Antriebskraft für eine solche Dynamo sehr nahe proportional der dritten Potenz der Geschwindigkeit sein würde, so müsste schon aus diesem Grunde die Bewegungsrichtung des Ankers sehr schnell umgekehrt werden. Aber gleichzeitig mit der Umkehrung tritt noch ein anderes Element ins Spiel; es wirkt nämlich der Motor, sobald die Bewegung der Pole in Bezug auf den Anker umgekehrt wird, wie ein Transformator, bei welchem der Widerstand des Sekundärkreises dadurch abnorm vermindert werden würde, dass man in diesem Stromkreise eine weitere elektromotorische Kraft erzeugte. Infolge dieser Umstände erfolgt die Umkehr augenblicklich.

Will man eine konstante Geschwindigkeit und gleichzeitig eine gewisse Zugkraft beim Anlaufen erzielen, so kann man dies leicht auf verschiedene Weisen erreichen. Z. B. kann man auf derselben Welle zwei Anker, den einen für das Drehmoment und den andern für den Synchronismus, anbringen und irgend einem der beiden jedes gewünschte Uebergewicht über den andern geben, oder es kann der Anker mit Rücksicht auf ein grosses Drehmoment bewickelt, demselben aber durch geeignete Konstruktion des Eisenkerns eine mehr oder weniger ausgesprochene Tendenz zum Synchronismus gegeben werden, und so noch auf manche andere Weise.

Von den Methoden, die erforderliche Phasendifferenz der Ströme in beiden Stromkreisen zu erhalten, ist die Anordnung der beiden Spulen senkrecht zu einander die einfachste, da sie die gleichförmigste Wirkung ergiebt; indessen lässt sich der Phasenunterschied noch auf manche andere Art je nach der benutzten Maschine erreichen. Jede der gegenwärtig gebräuchlichen Dynamomaschinen kann leicht für diesen Zweck umgeändert werden dadurch, dass man mit geeigneten Punkten der Erzeugerspulen Verbindungen herstellt. Bei Kurzschlussankern, wie sie bei den Gleichstromsystemen benutzt werden, ist es am besten, von vier äquidistanten Punkten oder Streifen des Kommutators Abzweigungen zu machen und dieselben mit vier isolirten Schleifringen auf der Welle zu verbinden. In diesem Falle ist jeder der Motorstromkreise mit zwei diametral gegenüberliegenden Streifen des Kommutators verbunden. Bei einer solchen Anordnung kann der Motor auch mit der halben Spannung und nach dem Dreileitersystem betrieben werden, indem man die Motorstromkreise in geeigneter Reihenfolge mit dreien der Kontaktringe verbindet.

Bei vielpoligen Dynamomaschinen, wie sie z. B. bei den Umformersystemen verwendet werden, erhält man die Phase zweckmässig dadurch, dass man auf den Anker zwei Reihen von Spulen in solcher Weise wickelt, dass, während die Spulen des einen Systems oder der einen Reihe in ihrer maximalen Stromproduktion sind, die Spulen der andern Reihe in oder nahezu in ihrer neutralen Lage sich befinden, wobei beide Spulensysteme gleichzeitig oder nach einander der inducirenden Wirkung der Feldmagnete ausgesetzt werden können.

Im Allgemeinen wird man die Stromkreise im Motor in ähnlicher Weise anordnen, und man kann, um die Anforderungen zu erfüllen, in mannigfacher Weise verfahren. Die einfachste und praktischste Art aber ist die, dass man primäre Stromkreise auf stationären Theilen des Motors anbringt, wodurch man, wenigstens bei gewissen Formen, die Anwendung von Schleifkontakten vermeidet. In einem solchen Falle werden die Magnetspulen abwechselnd in den einen und den andern Stromkreis eingeschaltet, d. h. die erste, dritte, fünfte u. s. w. in den einen und die zweite, vierte, sechste u. s. w. in den andern, und die Spulen jeder Gruppe der Reihe können alle in derselben Weise oder abwechselnd entgegengesetzt verbunden werden; im letzteren Falle resultirt ein Motor mit der halben Anzahl von Polen und seine Wirkung wird dementsprechend modificirt sein. Die Fig. 15, 16 und 17 stellen drei verschiedene Phasen dar, wobei die Magnetspulen in jedem Stromkreis abwechselnd entgegengesetzt verbunden sind. In diesem Falle sind stets vier Pole vorhanden, wie in Fig. 15 und 17; vier Polvorsprünge sind neutral; und in Fig. 16

haben zwei benachbarte Polvorsprünge die nämliche Polarität. Wenn die Spulen in gleicher Weise verbunden sind, so giebt es acht abwechselnde Pole, wie durch die Buchstaben *n's'* in Fig. 15 angedeutet ist.

Die Verwendung von Multipolarmotoren gewährt bei diesem System einen sehr erwünschten und beim Gleichstromsystem unerreichbaren

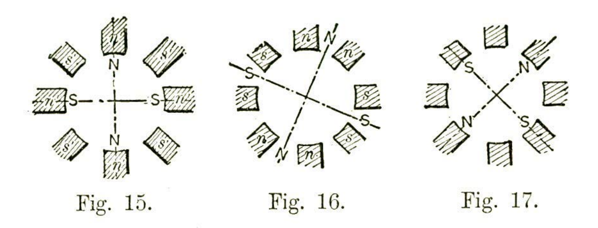


Fig. 15. Fig. 16. Fig. 17.

Vortheil, nämlich den, dass man einen Motor bauen kann, der, ohne Rücksicht auf Unvollkommenheiten in der Konstruktion, auf Belastung und, innerhalb gewisser Grenzen, auf elektromotorische Kraft und Stromstärke genau bei einer vorher bestimmten Geschwindigkeit läuft.

Bei einem allgemeinen Vertheilungssystem dieser Art hätte man den nachstehenden Plan zu befolgen. In der Centralstation wäre ein Stromerzeuger mit einer grösseren Anzahl von Polen aufzustellen. Die von diesem Generator betriebenen Motoren müssten von der synchronen Type sein, aber hinreichende Drehkraft besitzen, um von selbst anzugehen. Wenn man gewisse Konstruktionsregeln beobachtet, so darf man annehmen, dass die Geschwindigkeit jedes Motors ungefähr im umgekehrten Verhältniss zu seiner Grösse steht, und die Anzahl der Pole wäre dementsprechend zu wählen. Allerdings können ausnahmsweise Anforderungen diese Regel modificiren. Mit Rücksicht hierauf würde es vortheilhaft sein, jeden Motor mit einer grösseren Anzahl von Polvorsprüngen oder Spulen zu versehen, und zwar würde es sich empfehlen, für diese Anzahl ein Vielfaches von 2 oder 3 zu nehmen. Auf diese Weise kann durch einfache Aenderung der Verbindungen der Spulen der Motor allen voraussichtlichen Ansprüchen angepasst werden.

Ist die Zahl der Pole beim Motor gerade, so ist die Wirkung harmonisch und man erreicht das angestrebte Resultat. Ist dies nicht der Fall, so thut man am besten, wenn man einen Motor mit einer doppelten Anzahl von Polen baut und dieselben in der vorher angedeuteten Weise verbindet, derart dass nur die halbe Anzahl von Polen resultirt. Man nehme z. B. an, dass der Stromerzeuger 12 Pole besitze und dass man eine Geschwindigkeit erhalten wolle, die gleich $^{12}/_{7}$ der Geschwindigkeit des Stromerzeugers ist. Dies würde einen Motor mit 7 Polvorsprüngen

oder Magneten erfordern, und ein solcher Motor würde nicht in die Stromkreise in zweckmässiger Weise eingeschaltet werden können, wenn nicht 14 Ankerspulen vorgesehen werden, was wiederum die Anwendung von Schleifkontakten erfordern würde. Um dies zu vermeiden, wäre der Motor mit 14 Magneten zu versehen und es wären 7 davon in jeden Stromkreis einzuschalten derart, dass die Magnete in jedem Stromkreise mit einander abwechseln. Der Anker müsste 14 kurzgeschlossene Spulen haben. Die Wirkung des Motors würde freilich nicht ganz so vollkommen sein wie im Falle einer geraden Anzahl von Polen, indessen wäre dieser Uebelstand nicht ernstlicher Natur.

Im Uebrigen werden die aus dieser unsymmetrischen Form sich ergebenden Nachtheile in demselben Maasse geringer, wie die Anzahl der Pole wächst.

Hat der Stromerzeuger etwa n und der Motor n_1 Pole, so ist die Geschwindigkeit des Motors gleich derjenigen des Generators multiplicirt mit $\frac{n}{n_1}$.

Die Geschwindigkeit des Motors ist im Allgemeinen abhängig von der Zahl der Pole, indessen bestehen Ausnahmen von dieser Regel. Die Geschwindigkeit kann durch die Phase der Ströme im Stromkreise oder durch den Charakter der Stromimpulse oder durch die Zwischenräume zwischen je zwei oder zwischen Gruppen von Stromimpulsen modificirt werden. Einige der möglichen Fälle sind in den Diagrammen Fig. 18, 19, 20 und 21, die einer Erklärung nicht bedürfen, angedeutet. Fig. 18 stellt die Verhältnisse, wie sie im Allgemeinen bestehen und die das beste Resultat ergeben, dar. In einem solchen Falle wird, wenn die

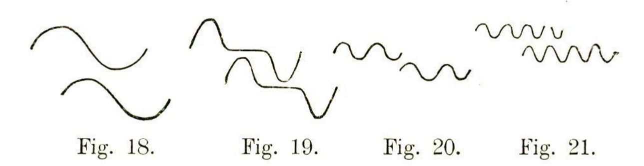


Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21.

in Fig. 9 dargestellte typische Form eines Motors verwendet wird, eine vollständige Welle in jedem Stromkreise eine Umdrehung des Motors hervorbringen. In Fig. 19 wird dasselbe Resultat erreicht durch eine Welle in jedem Stromkreise, wobei die Stromimpulse aufeinander folgen, in Fig. 20 durch vier und in Fig. 21 durch acht Wellen.

Auf diese Weise kann jede gewünschte Geschwindigkeit, mindestens innerhalb der Grenzen praktischer Bedürfnisse, erreicht werden. Dies ist ein Vorzug dieses Systems neben andern, die sich aus der Einfach-

heit desselben ergeben. Bei Vollbelastungen zeigen die Motoren einen Wirkungsgrad, der demjenigen der Gleichstrommotoren völlig gleich ist. Die Transformatoren besitzen einen weiteren Vortheil in ihrer Fähigkeit, Motoren zu betreiben. Sie lassen ähnliche Modifikationen in der Konstruktion zu und werden die Einführung der Motoren und deren Anpassung an praktische Bedürfnisse erleichtern. Ihr Wirkungsgrad dürfte höher sein als der der gegenwärtigen Transformatoren und zwar behaupte ich dies aus folgenden Gründen.

In einem Transformator von der Art, wie sie gegenwärtig gebaut werden, erzeugen wir die Ströme im Sekundärkreise durch Variiren der Stärke der primären oder erregenden Ströme. Nehmen wir Proportionalität hinsichtlich des Eisenkernes an, so wird die auf die Sekundärspule ausgeübte induktive Wirkung der numerischen Summe der Variationen in der Stärke des Erregungsstromes per Zeiteinheit proportional sein, woraus folgt, dass für eine gegebene Variation jede Verlängerung des primären Stromes auf einen proportionalen Verlust hinausläuft. Um rasche Variationen in der Stromstärke zu erhalten, wie sie für eine wirksame Induktion wesentlich sind, muss man eine grosse Zahl von Undulationen anwenden; aus dieser Praxis aber ergeben sich verschiedene Nachtheile. Diese sind: Grössere Kosten und geringerer Wirkungsgrad des Stromerzeugers; grössere Energievergeudung in der Erwärmung der Kerne und daher geringere Leistung des Transformators, da der Kern nicht gehörig ausgenutzt wird, weil die Umkehrungen zu schnell sind. Die induktive Wirkung ist daher sehr gering in gewissen Phasen, wie sich aus einer graphischen Darstellung leicht ergiebt, und es können Perioden der Unwirksamkeit eintreten, wenn zwischen den aufeinanderfolgenden Stromimpulsen oder Stromwellen Pausen stattfinden. Bringt man aber in einem Transformator eine Verschiebung der Pole hervor und inducirt dadurch Ströme, so erreicht man bezüglich der Induktion den idealen Zustand, da dieselbe stets bei ihrer maximalen Wirkung erhalten wird. Man hat daher Grund zu der Annahme, dass durch eine Verschiebung der Pole weniger Energie vergeudet wird als durch Umkehrungen der Polarität."

4. Kapitel.

Abänderungen und Erweiterungen der Tesla'schen Mehrphasensysteme.

In seinen ersten auf Mehrphasenströme bezüglichen Abhandlungen und Patenten kam es Tesla hauptsächlich darauf an, die diesen neuen Arbeiten zu Grunde liegenden Ideen in breiteren Umrissen auseinanderzusetzen. Er ergänzte sie jedoch bald darauf durch eine Reihe anderer überraschender Erfindungen, die als Modifikationen und Erweiterungen gewisser Eigenthümlichkeiten der Tesla'schen Systeme gelten können. Von diesen soll im Folgenden gehandelt werden.

In den vorhergehenden Kapiteln haben wir diejenigen Methoden Tesla's zur Arbeitsübertragung und zur Umwandlung und Vertheilung der elektrischen Energie dargelegt und beschrieben, in denen die Motoren und Transformatoren zwei oder mehr Spulen oder Spulensysteme enthielten, welche mit entsprechenden Spulen eines Wechselstromgenerators in von einander unabhängigen Stromkreisen verbunden waren, wobei das System dadurch zur Wirkung gelangte, dass durch das Zusammenwirken der Wechselströme in den unabhängigen Stromkreisen die Pole oder Punkte maximalen magnetischen Effektes der Motoren oder Transformatoren fortbewegt oder verschoben wurden. In diesen Systemen sind zwei unabhängige Leiter für jeden der einzelnen Stromkreise angewendet, welche den Stromerzeuger mit den zur Umwandlung der übertragenen Ströme in mechanische Energie oder in elektrische Ströme anderer Art dienenden Vorrichtungen verbinden. Dies ist jedoch nicht immer nothwendig. Es können die beiden oder mehrere Stromkreise eine einzige gemeinsame Rückleitung haben, mit einem Verlust, der jedenfalls so ausserordentlich gering ist, dass er vollständig vernachlässigt werden kann. Besässe z. B. der Generator zwei unabhängige Spulen und der Motor zwei Spulen oder zwei in entsprechender Beziehung zu den Elementen des ersteren stehende Spulensysteme, so wird das eine Ende jeder Generatorspule mit den entsprechenden Enden der Motorspulen durch zwei unabhängige Leiter verbunden, während die andern Enden der betreffenden Spulen beide an eine Rückleitung angeschlossen werden. Im Nachfolgenden ist diese Abänderung näher beschrieben.

Fig. 22 stellt diagrammatisch einen Generator und einen einzigen Motor dar, der der Erfindung gemäss konstruirt und elektrisch verbunden ist. Fig. 23 ist ein Diagramm des Systems, wie es beim Parallelbetrieb von Motoren oder Transformatoren oder beider zugleich benutzt wird,

während Fig. 24 diagrammatisch die Art und Weise des Betriebes zweier oder mehrerer Motoren oder Transformatoren oder beider zugleich in Hintereinanderschaltung veranschaulicht.

In Fig. 22 bezeichnen *AA* die Pole der Feldmagnete einer Wechselstrommaschine, deren Anker, welcher in diesem Falle cylindrisch und auf eine Welle *C* montirt ist, in der Längsrichtung mit Spulen *BB'* bewickelt ist. Die Welle *C* trägt drei isolirte Kontaktringe *a*, *b*, *c*, an deren zwei, z. B. an *bc*, je ein Ende jeder Spule, z. B. *ed*, angeschlossen ist. Die übrigen Enden *fg* sind beide mit dem dritten Ringe *a* verbunden.

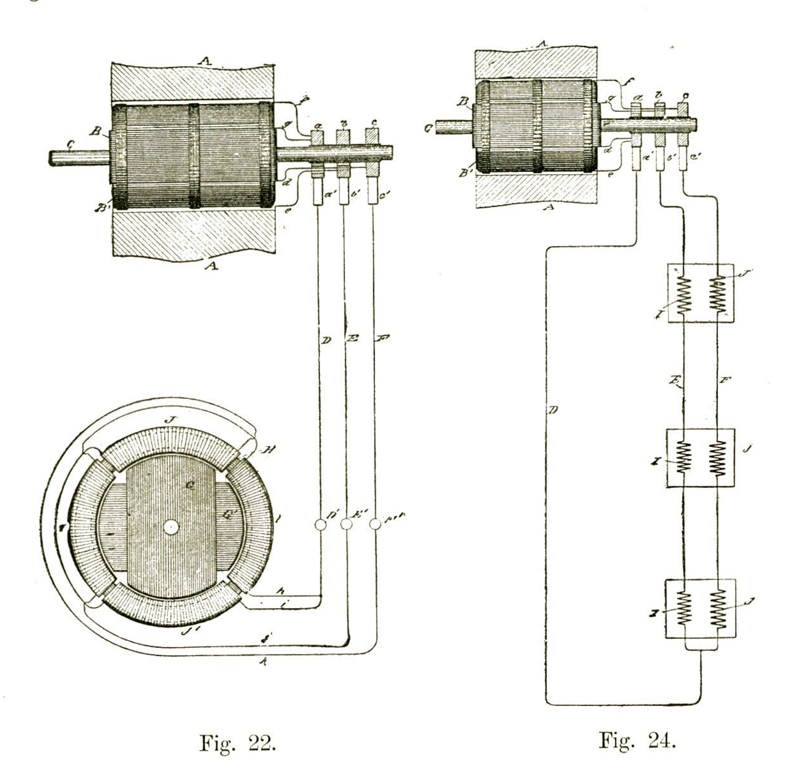


Fig. 22. Fig. 24.

Der Motor ist in diesem Falle dargestellt als bestehend aus einem Ringe *H*, der mit vier Spulen *II' JJ'* bewickelt ist, die in solcher Weise elektrisch verbunden sind, dass sie paarweise zusammenwirken und die Pole des Ringes an vier um 90° von einander abstehenden Punkten festzuhalten streben. Innerhalb des Magnetringes *H* befindet sich eine Scheibe oder ein cylindrischer Kern mit zwei Spulen *G G'*, welche zu zwei geschlossenen Stromkreisen verbunden werden können. Die Enden *jk* der beiden Spulenpaare sind bezüglich mit den beiden Klemmen *E' F'*

und die andern Enden $h\,i$ mit einer einzigen Klemme D' verbunden. Zur Bethätigung des Motors werden drei Leitungsdrähte gebraucht, um die Klemmen des Generators mit denen des Motors zu verbinden.

Was die Wirkungsweise dieser Anordnung anlangt, so kann man den einzelnen Draht D, der gewissermassen eine gemeinsame Rückleitung für beide Stromkreise bildet, als zwei unabhängige Leitungen betrachten. Bei der in der Figur dargestellten Schaltung bringt Spule B' des Generators ihren Maximalstrom und Spule B ihren Minimalstrom hervor; daher hält der Strom, welcher durch den Draht e, Ring b, Bürste b', Leitung E, Klemme E', Draht j, Spulen II, Draht oder Klemme D', Leitung D, Bürste a', Ring a und Draht f hindurchgeht, die Pollinie des Motors mitten zwischen den beiden Spulen II fest. Sobald aber die Spule B' sich aus der angegebenen Stellung herausbewegt, erzeugt sie weniger Strom, während die in das Feld hinein sich bewegende Spule B mehr Strom erzeugt. Der Strom, welcher von der Spule B herrührt, geht der Reihe nach durch die mit den Buchstaben d, c, c', F, F', k, J, J, i, D', D, a', a, g bezeichneten Maschinentheile und Leitungen und die Lage der Pole des Motors ergiebt sich aus der resultirenden Wirkung der Ströme in den beiden Spulensystemen, d. h. sie rückt vor nach Maassgabe des Fortschreitens oder der Vorwärtsbewegung der Ankerspulen. Die Bewegung des Generatorankers durch eine Viertelumdrehung bringt offenbar Spule B' in ihre neutrale Lage und Spule B in die Lage grösster Wirkung und dieses verschiebt die Pole um 90^0, da sie nur durch die Spulen B bestimmt werden. Diese Wirkung wiederholt sich für jedes Viertel einer vollen Umdrehung.

Werden mehrere Motoren oder andere Apparate verwendet, so können dieselben entweder in Parallel- oder in Hintereinanderschaltung betrieben werden. In Fig. 23 ist die erstere Anordnung dargestellt. Der elektrische Apparat ist als Transformator L dargestellt, dessen beide Primärspulensysteme $p\,r$ bezüglich mit den Hauptleitungen FE verbunden sind, die mit den beiden Spulen des Stromerzeugers in elektrischer Verbindung stehen. Die Drähte $l\,m$, durch welche diese Verbindungen hergestellt sind, sind alsdann an die gemeinsame Rückleitung D angeschlossen. Die Sekundärspulen $p'\,p''$ befinden sich in Stromkreisen $n\,o$, in welche z. B. Glühlampen eingeschaltet sind. In der Figur ist nur ein Transformator vollständig dargestellt, während die andern diagrammatisch angedeutet sind.

Sollen Motoren oder Transformatoren in Hintereinanderschaltung betrieben werden, so werden die beiden Leitungen EF vom Generator nach den Spulen des ersten Motors oder Transformators geführt, dann bis

zum nächsten fortgesetzt und so fort durch die ganze Reihe von Motoren und Transformatoren und schliesslich mit dem einzelnen Drahte *D*, welcher beide Stromkreise durch den Stromerzeuger hindurch schliesst, verbunden. Dies ist in Fig. 24 dargestellt, in welcher *JI* die beiden Spulen oder Spulensysteme der Motoren vorstellen.

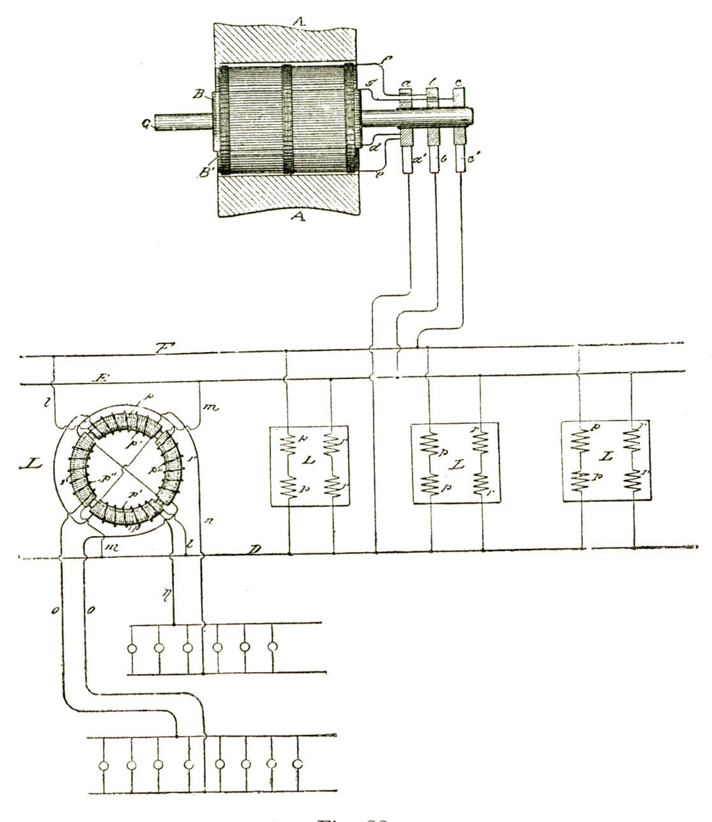


Fig. 23.

Es giebt natürlich noch andere Verhältnisse, bei denen dasselbe Princip zur Anwendung gebracht werden kann. Wenn z. B. Motor und Generator je drei von einander unabhängige Stromkreise besitzen, so wird das eine Ende jedes Stromkreises mit einem Leitungsdraht und die andern drei Enden mit einer gemeinsamen Rückleitung verbunden. Diese Anordnung ergiebt ähnliche Resultate wie die, welche nach dem Obigen mit einem Generator und Motor erhalten wurden, welche nur zwei unabhängige Stromkreise besitzen.

Bei der Anwendung auf solche Maschinen und Motoren, welche drei oder mehr inducirte Stromkreise mit einer gemeinsamen elektrischen Verbindung haben, würden die drei oder mehr Klemmen des Generators einfach mit denen des Motors verbunden werden. Tesla behauptet jedoch, dass die auf diese Weise erhaltenen Resultate einen geringeren Wirkungsgrad ergeben wie diejenigen Formen, über welche oben weitläufiger gehandelt wurde.

---

5. Kapitel.

Verwendung der gewöhnlichen Typen von Gleichstrommaschinen.

Im Vorhergehenden wurde die Verwendung von Wechselstromgeneratoren vorausgesetst, in denen zur Hervorbringung der Verschiebung der magnetischen Pole oder der resultirenden Attraktion der unabhängigen Feldmagnete die Strom erzeugenden Spulen von einander unabhängig oder separirt sind. Es können indessen die gewöhnlichen Formen von Gleichstromdynamomaschinen zu demselben Zwecke verwendet werden, wenn man sie entsprechend einer von Tesla erfundenen Methode passend umändert. Wie man sehen wird, erfordert die Modifikation nur geringfügige Aenderungen in ihrer Konstruktion und bietet überdies einige Vortheile in Bezug auf Oekonomie.

Auf der Welle eines gegebenen Stromerzeugers werden entweder an Stelle des gewöhnlichen Kommutators oder neben demselben so viele Paare isolirter Stromabnehmerringe angebracht, als Stromkreise zu betreiben sind. Nun ist ersichtlich, dass beim Betriebe einer dynamoelektrischen Maschine die Ströme in den Spulen bei deren Bewegung durch das Kraftfeld verschiedene Phasen durchmachen — d. h. bei verschiedenen Lagen der Spulen haben die Ströme eine bestimmte Richtung und eine bestimmte Stärke — und dass bei den Tesla'schen Motoren und Transformatoren die Ströme in den Erregungsspulen Variationen in Stärke und Richtung in einer bestimmten Reihenfolge durchmachen müssen. Demnach ist der weitere Schritt — nämlich die Verbindung zwischen den inducirten oder Strom erzeugenden Spulen der Maschine und den Kontaktringen, von denen die Ströme abgenommen werden sollen — nur durch die Reihenfolge bestimmt, in welcher man die Variationen der Stärke und Richtung der Ströme vornehmen will, um ein

gegebenes Resultat in elektrischen Verbrauchsapparaten zu erzielen. Es kann dies auf verschiedenem Wege geschehen, in den Abbildungen geben wir jedoch zur Erläuterung des Princips nur typische Beispiele der besten und praktischsten Art der Anwendung der Erfindung auf die drei hauptsächlichsten und am weitesten verbreiteten Maschinentypen.

Fig. 25 zeigt die Art der Anwendung der Erfindung auf die bekannte Maschinentype mit „geschlossenem" Stromkreis. Das Diagramm Fig. 26 stellt einen Anker mit getrennten Spulen, die diametral ver-

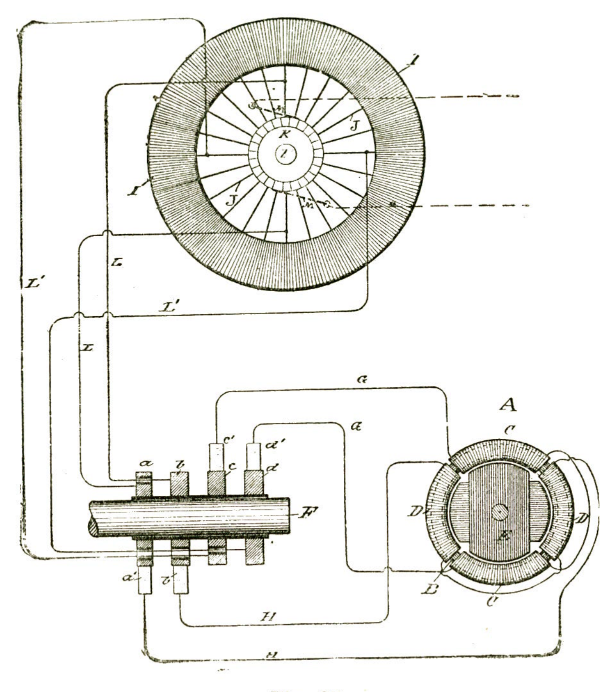


Fig. 25.

bunden sind, oder eine Maschine mit „offenem Stromkreise" dar. Fig. 27 endlich zeigt die Anwendung der Erfindung auf eine Maschine, deren Ankerspulen eine gemeinsame Verbindung haben.

In Fig. 25 bedeute *A* einen Tesla'schen Motor oder Transformator, den wir kurz als „Umformer" bezeichnen wollen. Derselbe besteht aus einem mit vier unabhängigen Spulen *C* und *D* bewickelten ringförmigen Kern *B*; die diametral gegenüberliegenden Spulen sind derart mit einander verbunden, dass sie paarweise zur Herstellung freier Pole in dem Ringe zusammenwirken, wobei jedes Paar die Pole um 90° von dem andern entfernt festzuhalten sucht. Innerhalb des Ringes möge sich ein

Anker E befinden, welcher mit in sich selbst geschlossenen Spulen umwickelt ist. Die Absicht ist, durch die Spulen CD Ströme von solcher relativen Stärke und Richtung hindurchzusenden, dass ein allmähliches Fortschieben der Punkte maximaler magnetischer Wirkung um den Ring herum hervorgebracht und dadurch eine drehende Bewegung des Ankers erhalten wird. Zu diesem Zwecke sind auf der Welle F des Generators vier isolirte Kontaktringe a, b, c, d befestigt, auf denen die Stromabnehmerbürsten a', b', c', d' schleifen, welche durch die Drähte $GGHH$ respektive mit den Enden der Spulen C und D verbunden sind.

Wir wollen der Erläuterung halber annehmen, dass die Spulen DD den Maximal- und die Spulen CC in demselben Augenblicke den Minimalstrom erhalten, so dass die Pollinie mitten zwischen den Spulen DD liegt. Die Ringe ab wären also mit der geschlossenen Ankerspule an ihren neutralen Punkten bezüglich des Feldes oder mit den Punkten, welche der Stellung der gewöhnlichen Kommutatorbürsten entsprechen und zwischen denen die grösste Potentialdifferenz besteht, verbunden, während die Ringe cd mit den beiden Punkten der Spule, zwischen welchen keine Potentialdifferenz besteht, verbunden sein würden. Die besten Resultate erhält man, wenn man diese Verbindungen, so wie es in der Figur dargestellt ist, an von einander gleichweit abstehenden Punkten ausführt. Man stellt diese Verbindungen am leichtesten vermittelst Drähten L zwischen den Ringen und den Schleifen oder Drähten J her, welche die Spule I mit den Segmenten des Kommutators K verbinden. Werden die Umformer in dieser Weise ausgeführt, so werden offenbar die Phasen der Ströme in den Abtheilungen der Generatorwickelung in den Umformerspulen reproducirt. Z. B. werden nach einer Drehung um 90^0 die Leiter LL, welche zuvor den Maximalstrom führten, infolge der Aenderung in der Lage ihrer Spulen den geringsten Strom erhalten und es ist ersichtlich, dass aus demselben Grunde der Strom in diesen Spulen beim Durchgange durch einen Bogen von 90^0 allmählich vom Maximum zum Minimum gefallen ist. Bei dieser besonderen Schaltungsart ist die Rotation der magnetischen Pole des Umformers synchron mit derjenigen der Ankerspulen des Stromerzeugers und das Resultat bleibt dasselbe, mögen die Erregerstromkreise von einer geschlossenen Ankerspule oder, wie in andern Apparaten Tesla's, von unabhängigen Spulen abgezweigt sein.

In Fig. 25 zeigen die gestrichelten Linien die Bürsten MM in ihrer eigentlichen normalen Stellung. In der Praxis können diese Bürsten vom Kommutator abgenommen und das Feld des Generators durch eine äussere Stromquelle erregt werden; oder es können auch die Bürsten

am Kommutator belassen werden, um mittels derselben einen gleichgerichteten Strom zur Erregung des Feldes oder zu andern Zwecken abzunehmen.

Bei einer andern bekannten Klasse von Maschinen, welche gewöhnlich Maschinen mit „offenem Stromkreise“ genannt werden, enthält der Anker eine Anzahl Spulen, deren Enden an die Kommutatorsegmente angeschlossen sind, während andererseits die Spulen paarweise quer über den Anker mit einander verbunden sind. Diese Maschinentype ist in Fig. 26 dargestellt. Bei dieser Maschine geht jedes Spulenpaar durch dieselben Phasen hindurch wie die Spulen bei einigen der bereits vorgeführten Generatoren und es ist offenbar nur nöthig, dieselben paarweise oder in Gruppen zum Betriebe eines Tesla-Umformers zu benutzen, indem man die zu jedem Spulenpaar gehörigen Kommutatorsegmente mit

Fig. 27.

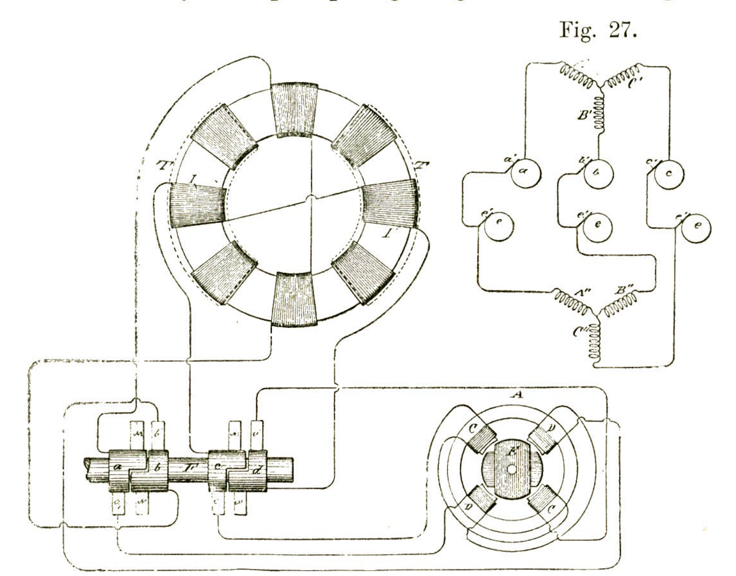


Fig. 26.

einem Fortsatz versieht und auf dem zusammenhängenden Theile jedes Segmentes eine Stromabnehmerbürste schleifen lässt. Auf diese Weise können von dem Stromerzeuger zwei oder mehr Stromkreise abgezweigt werden, von denen jeder nach Belieben ein oder mehrere Paare oder Gruppen von Spulen enthält.

In Fig. 26 stellen *II* die Ankerspulen, *TT* die Pole des Feldmagneten und *F* die die Kommutatoren tragende Welle dar; die Kommutatoren sind um zusammenhängende Fortsätze *a*, *b*, *c*, *d* erweitert. Die

Bürsten, welche zur Abnahme der Wechselströme auf den zusammenhängenden Theilen schleifen, sind durch *a'*, *b'*, *c'*, *d'* dargestellt. Die Stromabnehmerbürsten, d. h. diejenigen, welche zur Abnahme des Gleichstroms benutzt werden können, sind durch *MM* bezeichnet. Nach der Darstellung in der Figur sind nur zwei Paare der Ankerspulen und ihre Kommutatoren benutzt; indessen können alle in gleicher Weise verwendet werden.

Es giebt noch eine andere bekannte Maschinentype, bei welcher drei oder mehr Spulen *A' B' C'* auf dem Anker eine gemeinsame Verbindung haben, während die freien Enden derselben mit den Segmenten eines Kommutators verbunden sind. Diese Form des Stromerzeugers ist in Fig. 27 dargestellt. In diesem Falle ist jede Klemme des Generators direkt oder im Nebenschluss mit einem zusammenhängenden Ringe *a*, *b*, *c* verbunden und darauf schleifende Stromabnehmerbürsten *a'*, *b'*, *c'* nehmen die Wechselströme zum Betriebe des Motors ab. Man verwendet in diesem Falle mit Vortheil einen Motor oder Transformator mit drei Erregerspulen *A''*, *B''*, *C''*, welche symmetrisch zu denen des Stromerzeugers liegen, und die von letzterem ausgehenden Stromkreise werden mit den Enden dieser Spulen entweder direkt — z. B. wenn sie stationär sind — oder mittels Bürsten *e'* und Kontaktringen *e* verbunden. In diesem wie in den andern Fällen kann am Generator der gewöhnliche Kommutator benutzt und der von ihm abgenommene Strom zur Erregung der Feldmagnete des Generators oder zu andern Zwecken verwendet werden.

---

6. Kapitel.

Verfahren zur Erzielung einer gewünschten Geschwindigkeit des Motors oder Generators.

Um die gewünschte Geschwindigkeit bei mittels Wechselströmen von verschiedener Phase betriebenen Motoren zu erzielen, hat Tesla je nach den praktischen Anforderungen verschiedene Methoden ersonnen, indem er sein System den Typen vielpoliger Wechselstrommaschinen anpasste, die bei jeder Umdrehung eine grosse Anzahl von Stromumkehrungen geben.

Um z. B. eine gegebene Type einer Wechselstrommaschine diesem Zweck anzupassen, kann man nach Tesla zwei komplette Maschinen starr mit einander verbinden, indem man sie so zusammenkuppelt, dass die erforderliche Phasendifferenz erzeugt wird; oder man kann zwei

Anker auf derselben Welle innerhalb des Einflusses desselben Feldes und mit der zur Hervorbringung der geeigneten Phasendifferenz zwischen den beiden Strömen erforderlichen Winkelverschiebung befestigen; oder es können auf derselben Welle zwei Anker angebracht werden, deren Spulen symmetrisch angeordnet, aber dem Einfluss zweier passend gegen einander versetzten Systeme von Feldmagneten unterworfen sind; oder es können die beiden Spulensysteme abwechselnd oder in solcher Weise auf denselben Anker gewickelt werden, dass sie Ströme hervorbringen, deren Phasen der Zeit nach hinreichend verschieden sind, um eine Drehung des Motors zu erzeugen.

Eine andere Methode zur Verwirklichung desselben Gedankens, bei welcher ein einziger Generator mehrere Motoren entweder mit seiner eigenen Geschwindigkeit oder alle mit verschiedener Geschwindigkeit betreiben kann, besteht darin, dass man die Motoren mit weniger Polen baut, als der Generator besitzt, in welchem Falle ihre Geschwindigkeit grösser ist als diejenige des Generators und zwar um so mehr, je geringer im Verhältniss die Zahl ihrer Pole ist. Dies wird aus einem Beispiele ersichtlich werden, wenn man einen Generator, der zwei getrennte Stromerzeugerspulen besitzt, welche sich zwischen zwei entgegengesetzt magnetisirten Polschuhen drehen, und einen Motor mit Erregungsspulen nimmt, welche zu einer gegebenen Zeit zwei Magnetpole in dem einen Element, die eine Rotation des Motors zu veranlassen suchen, hervorbringen. Ein so konstruirter Generator giebt vier Stromumkehrungen oder Stromimpulse bei jeder Umdrehung und zwar je zwei in jedem seiner beiden unabhängigen Stromkreise und die Wirkung auf den Motor besteht darin, dass die magnetischen Pole durch den ganzen Kreisumfang hindurch verschoben werden. Es ist ersichtlich, dass, wenn die vier Umkehrungen in derselben Reihenfolge bei jeder halben Umdrehung des Generators hervorgebracht werden könnten, der Motor zwei Umdrehungen machen würde, während der Generator eine macht. Dies könnte leicht dadurch bewerkstelligt werden, dass man zum Generator zwei Zwischenpole hinzufügt oder denselben in einer der vorher angedeuteten äquivalenten Weisen abändert. Dasselbe Princip ist auf mehrpolige Generatoren und Motoren anwendbar. Ist z. B. ein Generator mit zwei Stromkreisen gebaut, deren jeder bei einer Umdrehung zwölf Stromumkehrungen hervorbringt, und werden diese Ströme durch die von einander unabhängigen Erregungsspulen eines Motors gesandt, dessen Spulen so angeordnet sind, dass sie jederzeit zwölf Magnetpole hervorbringen, so wird die Rotation beider Maschinen synchron sein; wenn aber die Motorspulen nur sechs Pole erzeugen, so wird der bewegliche

Theil des Motors sich zweimal herumdrehen, während der Generator nur eine Umdrehung macht; oder wenn der Motor vier Pole hat, so wird seine Rotation dreimal so schnell erfolgen wie diejenige des Generators.

Diese Verhältnisse, soweit sie zum Verständniss des Princips erforderlich sind, sind in den folgenden Figuren dargestellt. Fig. 28 stellt schematisch einen der Erfindung entsprechend konstruirten Generator dar. Fig. 29 zeigt einen entsprechend konstruirten Motor. Fig. 30 ist ein Diagramm eines Generators von abgeänderter Konstruktion und Fig. 31 stellt den gleichartigen Motor dar. Fig. 32 endlich ist ein Diagramm eines Systems bestehend aus einem Generator und mehreren Motoren, die bei verschiedenen Geschwindigkeiten zu laufen vermögen.

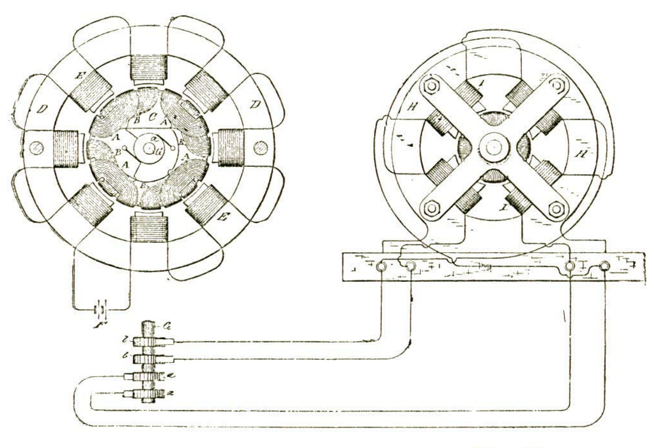


Fig. 28. Fig. 29.

In Fig. 28 möge *C* einen cylindrischen Ankerkern bedeuten, der der Längsrichtung nach mit isolirten Spulen *A A* bewickelt ist, die in Serie geschaltet sind; die Enden der Serie sind mit Kollektorringen *a a* auf der Welle *G* verbunden. Auf dieser Welle ist der Anker derart montirt, dass er zwischen den Polen eines ringförmigen Feldmagneten *D* rotiren kann. Der letztere ist mit Polvorsprüngen versehen, welche mit Spulen *E* bewickelt sind, durch welche die erwähnten Polvorsprünge magnetisirt werden. Die Spulen *E* sind in den Stromkreis einer Stromquelle *F* eingeschaltet, durch welche der Feldmagnet erregt wird. In dieser Konstruktion stellt die Maschine eine bekannte Form eines Wechselstromgenerators dar. Um dieselbe jedoch seinem System anzupassen, wickelt Tesla auf den Anker *C* ein zweites System von Spulen *BB* zwischen das erste oder, anders ausgedrückt, in solcher Lage, dass, während die Spulen des einen Systems vermöge ihrer Stellung zu den

Polen des Feldmagneten den Maximalstrom erzeugen, die Spulen des andern Systems sich in derjenigen Stellung befinden, in welcher sie den kleinsten Strom hervorbringen. Die Spulen *B* sind ebenfalls hintereinander geschaltet und mit zwei Kontaktringen verbunden, welche im Allgemeinen auf der Welle an dem entgegengesetzten Ende wie der Anker befestigt sind.

Der in Fig. 29 dargestellte Motor hat einen ringförmigen Feldmagnet *H* mit vier mit Spulen *I* bewickelten Polschuhen. Der Anker ist in ähnlicher Weise konstruirt wie der des Generators, nur dass er, der geringeren Zahl der magnetischen Pole im Felde entsprechend, mit zwei in sich geschlossenen Systemen von zwei Spulen versehen ist. Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, dass eine Umdrehung des Generatorankers, welche in jedem Stromkreise acht Stromimpulse erzeugt, zwei Umdrehungen des Motorankers hervorbringt.

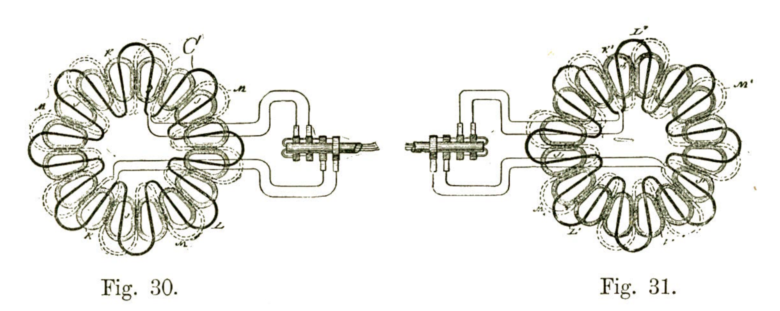


Fig. 30. Fig. 31.

Die Anwendung des Princips dieser Erfindung ist indessen nicht auf irgend eine besondere Form der Maschine beschränkt. In Fig. 30 und 31 ist ein Generator und ein Motor von einer andern wohlbekannten Type dargestellt. In Fig. 30 bedeuten *JJ* Magnete, welche in einem Kreise angeordnet und mit Spulen *K* bewickelt sind, die mit einer den Strom zur Unterhaltung des Kraftfeldes liefernden Stromquelle verbunden sind. Bei der gewöhnlichen Konstruktion dieser Maschinen wird der Ankerleiter *L* von einem passenden Rahmen gehalten, so dass er vor den Magneten *JJ* oder zwischen diesen Magneten und einem andern ähnlichen System vor diesen rotiren kann. Die Magnete werden in der Weise erregt, dass sie durch die ganze Reihe hindurch abwechselnd entgegengesetzte Polarität besitzen, so dass sich, wenn der Leiter *C* rotirt, die Stromimpulse zu einander addiren, da die durch den Leiter in irgend einer gegebenen Stellung hervorgebrachten Stromimpulse alle dieselbe Richtung haben. Um eine solche Maschine seinem Systeme anzupassen, fügt Tesla ein zweites System inducirter Leiter *M* hinzu, welches in

jeder Hinsicht dem ersten gleich, aber in Bezug auf dieses so angebracht ist, dass die in jedem erzeugten Ströme sich um eine Viertelphase unterscheiden. Unter diesen Verhältnissen wird offenbar, sobald der Strom im Leiter *L* abnimmt, derjenige im Leiter *M* zunehmen und umgekehrt und jede der zur Verwendung in diesem System erfundenen Formen von Tesla-Motoren kann durch einen solchen Generator betrieben werden.

Fig. 31 soll einen Motor vorstellen, welcher der Maschine in Fig. 30 entspricht. Die Konstruktion des Motors ist identisch mit derjenigen des Generators und, verkuppelt mit letzterem, wird der Motor synchron mit demselben laufen. *J' J'* sind die Feldmagnete, *K'* die Spulen auf denselben. *L'* stellt den einen der Ankerleiter und *M'* den andern dar.

Fig. 32 stellt diagrammatisch andere Maschinenformen dar. Der Generator *N* besteht in diesem Falle, wie aus der Figur ersichtlich, aus einem stationären Ringe *O*, der mit vierundzwanzig Spulen *P P'* bewickelt ist, die abwechselnd hintereinander zu zwei Stromkreisen geschaltet sind. Innerhalb dieses Ringes befindet sich eine Scheibe oder Trommel *Q* mit Vorsprüngen *Q'*, die mit Erregungsspulen bewickelt sind, welche in den Stromkreis einer Stromquelle *R* eingeschaltet sind. Durch Drehung dieser Scheibe oder dieses Cylinders werden Wechselströme in den Spulen *P* und *P'* erzeugt, welche zum Betriebe der verschiedenen Motoren fortgeleitet werden.

Die Motoren bestehen aus einem mit zwei Systemen von Erregungsspulen *T T'* bewickelten ringförmigen Feldmagneten *S* und Ankern *U* mit Vorsprüngen *U'*, die mit Spulen *V* bewickelt sind, welche sämmtlich hintereinander in einen geschlossenen Stromkreis geschaltet oder einzeln unabhängig von einander in sich selbst geschlossen sind.

Wir nehmen nun an, die zwölf Generatorspulen *P* seien abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen gewickelt, so dass je zwei benachbarte Spulen desselben Systems zwischen sich einen freien Pol in dem Ringe *O* hervorzubringen suchen, und die zwölf Spulen *P'* seien in ähnlicher Weise gewickelt. Eine einzige Umdrehung der Scheibe oder des Cylinders *Q*, dessen zwölf Polvorsprünge von entgegengesetzter Polarität sind, wird daher in jedem der Stromkreise *W W'* zwölf Stromstösse erzeugen. Mithin wird der Motor *X*, welcher sechzehn Spulen oder acht freie Pole hat, auf jede Umdrehung des Generators anderthalb Umdrehungen machen. Der Motor *Y*, welcher zwölf Spulen oder sechs Pole besitzt, wird doppelt so schnell rotiren wie der Generator und der Motor *Z* mit acht Spulen oder vier Polen dreimal so schnell wie letzterer. Diese vielpoligen Motoren haben eine Besonderheit, die oft mit grossem

Vortheil verwerthet werden kann. Im Motor *X* Fig. 32 z. B. können die acht Pole entweder abwechselnd von entgegengesetzter Polarität sein oder es können zu einer gegebenen Zeit abwechselnd je zwei gleiche und zwei entgegengesetzte Polarität besitzen. Dies erzielt man leicht

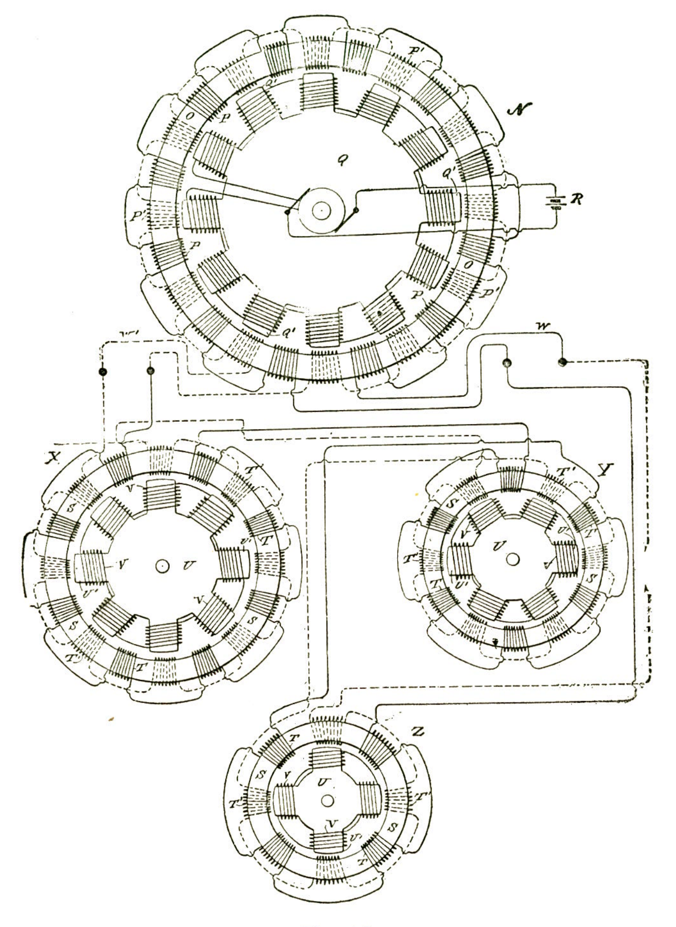


Fig. 32.

durch Herstellung der geeigneten elektrischen Verbindungen. Die Wirkung einer solchen Modifikation würde jedoch dieselbe sein, wie wenn man die Anzahl der Pole eines gegebenen Motors auf die Hälfte reducirte und damit die Geschwindigkeit desselben verdoppelte.

Es ist ohne Weiteres klar, dass die Tesla'schen elektrischen Transformatoren, welche unabhängige Primärströme haben, ebenfalls in Verbindung mit den beschriebenen Generatoren verwendet werden können.

Man kann ferner bezüglich der hier beschriebenen Apparate behaupten, dass die vollkommenste und harmonischste Wirkung der Generatoren und Motoren erhalten wird, wenn die Anzahl der Pole jedes derselben gerade und nicht ungerade ist. Ist dies nicht der Fall, so wird sich eine gewisse Ungleichmässigkeit der Wirkung ergeben, welche sich aber um so weniger bemerkbar macht, je grösser die Anzahl der Pole ist. Allerdings kann diese Ungleichmässigkeit durch besondere Vorkehrungen, die zu erklären hier nicht erforderlich ist, korrigirt werden. Natürlich wird der Motor, wenn die Anzahl seiner Pole grösser ist als die der Pole des Generators, mit geringerer Geschwindigkeit laufen als der Generator.

Wir schliessen in dieses Kapitel eine von Tesla angegebene Methode ein zur Vermeidung der sehr hohen Geschwindigkeiten, die bei grossen Generatoren nothwendig sein würden. Anstatt den Generatoranker mit hoher Geschwindigkeit sich drehen zu lassen, erzielt er das gewünschte Resultat durch eine Rotation der Magnetpole des einen Elements des Generators, während er das andere mit einer verschiedenen Geschwindigkeit sich drehen lässt. Die Wirkung ist dieselbe wie die, welche durch eine sehr hohe Drehungsgeschwindigkeit erhalten werden würde.

In diesem Falle besteht der Generator, welcher den Strom zum Betriebe der Motoren oder Transformatoren liefert, aus einem untertheilten Ringe, der mit vier einander diametral gegenüberliegenden Spulen EE' (Fig. 33) versehen ist. Innerhalb des Ringes ist ein cylindrischer Ankerkern montirt, der der Längsrichtung nach mit zwei unabhängigen Spulen FF' bewickelt ist, deren Enden respektive zu zwei Paaren von isolirten Kontakt- oder Kollektorringen DD' GG' auf der Ankerwelle führen. Auf diesen Ringen schleifen respektive Stromabnehmerbürsten dd' gg' und führen die Ströme durch die beiden von einander unabhängigen Linienstromkreise MM'. In die Hauptleitung können ein oder mehrere Motoren oder Transformatoren oder auch beide zugleich eingeschaltet sein. Werden Motoren benutzt, so sind diese von der gewöhnlichen Tesla'schen Konstruktion mit unabhängigen Spulen oder Spulensystemen JJ', die respektive in die Stromkreise MM' eingeschaltet werden. Diese Erregungsspulen sind auf einen ringförmigen Feldmagneten oder auf Polschuhe an demselben aufgewickelt und bringen durch die Wirkung der durch sie hindurchgehenden Wechselströme eine fortschreitende Verschiebung des Magnetismus von Pol zu Pol hervor. Der cylindrische Anker H des Motors ist mit zwei zu einander rechtwinklig stehenden Spulen bewickelt, welche unabhängige in sich geschlossene Stromkreise bilden.

Werden Transformatoren angewendet, so wird die eine Gruppe der auf einen ringförmigen Kern aufgewickelten Primärspulen, z. B. $N N$, mit dem einen Stromkreis, z. B. M', und die andere Gruppe der Primärspulen $N_1 N_1$ mit dem Stromkreis M verbunden. Die Sekundärspulen

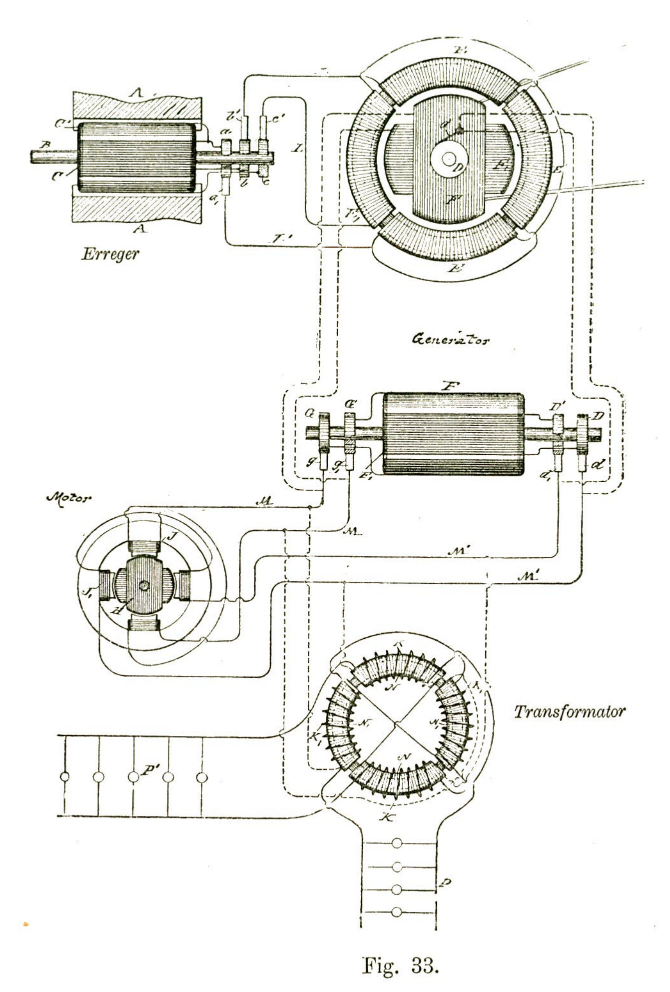


Fig. 33.

$K K_1$ können dann zur Speisung von Glühlampengruppen $P P'$ benutzt werden.

Bei diesem Generator ist eine Erregermaschine verwendet. Dieselbe besteht aus zwei Polen $A A$ aus permanent magnetisirtem Stahl oder aus durch eine Batterie oder eine andere Gleichstromquelle erregtem Eisen und aus einem cylindrischen Ankerkern, der auf eine Welle B

montirt und mit zwei in der Längsrichtung aufgewickelten Spulen $C C'$ versehen ist. Das eine Ende jeder dieser Spulen ist mit den Kollektorringen $b c$ respektive verbunden, während die andern Enden beide an einen Ring a angeschlossen sind. Auf den Ringen $b c$ schleifen respektive die Stromabnehmerbürsten $b' c'$ und Leiter $L L$ führen die Ströme von dort durch die Spulen E und F des Generators. L' ist eine gemeinschaftliche Rückleitung nach der Bürste a'. Auf diese Weise werden zwei unabhängige Stromkreise gebildet, von denen der eine die Spulen C des Erregers und $E E$ des Generators, der andere die Spulen C' des Erregers und $E' E'$ des Generators enthält. Es ergiebt sich hieraus, dass durch das Funktioniren der Erregermaschine eine fortschreitende Bewegung der magnetischen Pole des ringförmigen Feldkerns des Generators hervorgebracht wird, wobei die Verschiebung oder umlaufende Bewegung der Pole synchron ist mit der Rotation des Ankers der Erregermaschine. Bei Betrachtung der Operationsbedingungen eines in solcher Weise eingerichteten Systems findet man, dass, wenn der Erreger in Thätigkeit ist und das Feld des Generators erregt, der Anker des letzteren, falls er sich frei bewegen kann, mit einer Geschwindigkeit rotiren würde, die praktisch dieselbe ist wie die des Erregers. Werden unter solchen Verhältnissen die Spulen $F F'$ des Generatorankers kurzgeschlossen, so werden, wenigstens theoretisch, keine Ströme in diesen Ankerspulen erzeugt. In der Praxis beobachtet man jedoch das Vorhandensein geringer Ströme, deren Existenz den mehr oder weniger starken Schwankungen in der Intensität der magnetischen Pole des Generatorringes zuzuschreiben ist. Wenn z. B. die Ankerspulen $F F'$ durch den Motor geschlossen werden, so wird sich der letztere nicht drehen, solange die Bewegung des Generatorankers synchron ist mit derjenigen des Erregers oder der magnetischen Pole seines Feldes. Wenn dagegen die Geschwindigkeit des Generatorankers auf irgend eine Weise gehemmt wird, so dass die Verschiebung oder Rotation der Pole des Feldes verhältnissmässig schneller wird, so werden Ströme in den Ankerspulen inducirt werden. Es folgt dies offenbar daraus, dass die Ankerleiter von Kraftlinien geschnitten werden. Je grösser die Geschwindigkeit der Rotation der magnetischen Pole im Verhältniss zu derjenigen des Ankers ist, um so schneller werden die in den Spulen des letzteren entwickelten Ströme einander folgen und um so rascher wird sich der Motor infolge dessen drehen, und dies hält an, bis der Generator, z. B. durch eine Bremse, vollständig angehalten wird, wo dann der Motor, falls richtig konstruirt, mit der Geschwindigkeit sich dreht, mit welcher die magnetischen Pole des Generators rotiren.

Die effektive Stärke der in den Ankerspulen des Generators erzeugten Ströme ist abhängig von der Stärke der den Generator erregenden Ströme und von der Anzahl der Umdrehungen der magnetischen Pole des Generators in der Zeiteinheit; demnach hängt die Geschwindigkeit des Motorankers in allen Fällen von den relativen Geschwindigkeiten des Ankers des Generators und seiner magnetischen Pole ab. Rotiren z. B. die Pole zweitausendmal in der Zeiteinheit und der Anker achthundertmal, so wird der Motor zwölfhundert oder ungefähr soviele Umdrehungen machen. Durch einen gut ausbalancirten Motor können sehr geringe Geschwindigkeitsunterschiede angezeigt werden.

Man denke sich nun auf den Generatoranker eine Kraft ausgeübt, welche denselben in einer der Drehungsrichtung seiner magnetischen Pole entgegengesetzten Richtung zu drehen strebt. In diesem Falle würde das Resultat analog demjenigen sein, welches durch einen Generator hervorgebracht würde, dessen Anker und Feldmagnete in entgegengesetzten Richtungen rotirt werden, und auf Grund dessen wird der Motoranker sich mit einer Geschwindigkeit drehen, welche gleich der Summe der Geschwindigkeiten des Ankers und der magnetischen Pole des Generators ist, so dass eine verhältnissmässig geringe Geschwindigkeit des Generatorankers eine hohe Geschwindigkeit im Motor hervorbringt.

Man wird bei diesem System bemerken, dass, wenn man den Widerstand des äusseren Stromkreises des Generatorankers vermindert, sei es durch Bremsung der Geschwindigkeit des Motors oder durch Einfügung von Stromverbrauchsapparaten in Parallelschaltung in den sekundären Stromkreis bzw. in die sekundären Stromkreise des Transformators, die Stärke des Stromes im Ankerstromkreise erheblich zunimmt. Dies rührt von zwei Ursachen her: einmal von den grossen Unterschieden in den Geschwindigkeiten des Motors und Generators und sodann von dem Umstande, dass der Apparat der Analogie eines Transformators folgt, insofern als in dem Verhältniss, in welchem der Widerstand des Ankers oder der sekundären Stromkreise vermindert wird, die Stärke der Ströme im Felde oder in den primären Stromkreisen des Generators zunimmt und die Ströme im Anker entsprechend vergrössert werden. Aus ähnlichen Gründen wachsen die Ströme in den Ankerspulen des Generators sehr schnell, wenn die Geschwindigkeit des Ankers reducirt wird, während derselbe in gleicher Richtung läuft wie die magnetischen Pole oder umgekehrt.

Aus der obigen Beschreibung ist ersichtlich, dass der Generatoranker in der Richtung der Verschiebung der magnetischen Pole, nur schneller, bewegt werden kann und dass in solchem Falle die Geschwindigkeit des Motors gleich der Differenz zwischen beiden Geschwindigkeiten ist.

7. Kapitel.

Regulator für Drehstrommotoren.

Eine interessante Vorrichtung zur Regulirung und Umkehrung wurde von Tesla zu dem Zwecke ersonnen, die Geschwindigkeit von Mehrphasenmotoren zu variiren. Sie besteht in einer Art Umformer oder Transformator, dessen eines Element sich mit Bezug auf das andere bewegen kann, wobei die induktiven Beziehungen entweder mit der Hand oder automatisch behufs Variirung der Stärke des inducirten Stromes geändert werden können. Tesla zieht es vor, diese Vorrichtung derart zu konstruiren, dass das inducirte oder sekundäre Element relativ

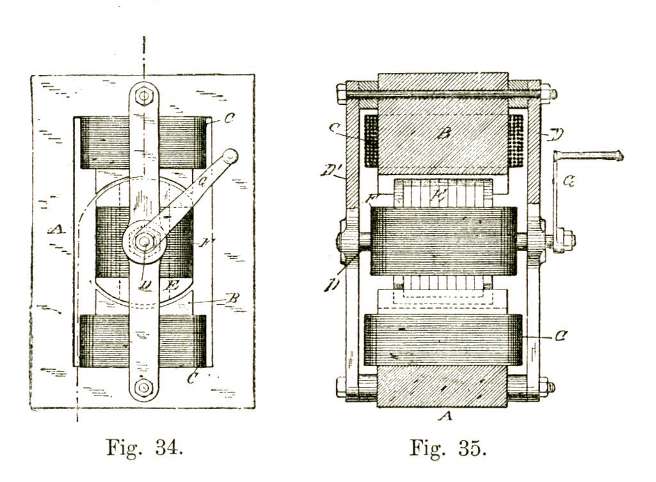


Fig. 34. Fig. 35.

zu dem andern beweglich ist, und die Erfindung, soweit sie sich bloss auf die Konstruktion der Vorrichtung selbst bezieht, besteht im Wesentlichen in der Kombination eines mit einer isolirten Spule bewickelten und auf eine Welle montirten Ankers mit zwei entgegengesetzten magnetischen Polen, wobei derselbe soweit wie erforderlich innerhalb des von den Polen erzeugten Feldes gedreht werden kann. Die normale Lage des Kernes des sekundären Elementes ist die, bei welcher derselbe den magnetischen Stromkreis zwischen den Polen des primären Elementes am vollständigsten schliesst, und in dieser Lage ist seine Spule in der wirksamsten Stellung bezüglich der induktiven Wirkung der primären Spulen auf dieselbe; indem man aber den beweglichen Kern nach der einen oder der andern Seite dreht, werden die durch seine Spule inducirten Ströme schwächer, bis nach einer Bewegung des Kernes und der Spule um 90° kein Strom mehr hervorgebracht wird.

Fig. 34 ist eine Seitenansicht des Regulators, Fig. 35 stellt einen Schnitt durch die Linie *xx* von Fig. 34 dar. Fig. 36 zeigt diagrammatisch die zweckmässigste Art der Anwendung des Regulators auf gewöhnliche Formen von Motoren und Fig. 37 in gleicher Weise die Anwendung der Vorrichtung auf die Tesla'schen Wechselstrommotoren. Der Regulator kann, um das gewünschte Resultat zu erzielen, auf viele Arten konstruirt werden; wohl die beste Form aber ist die, welche in den Fig. 34 und 35 dargestellt ist.

A stellt einen eisernen Rahmen dar, *BB* sind die Kerne der inducirenden oder primären Spulen *CC*. *D* ist eine auf den Seitenschienen *D'* montirte Welle, auf welcher ein Eisenkern *E* befestigt ist, der mit einer inducirten oder sekundären Spule *F*, deren Windungen parallel zur Achse der Welle sind, bewickelt ist. Die Enden des Kernes sind abgerundet, so dass sie genau in den Raum zwischen den beiden Polen hineinpassen und gestatten, dass der Kern *E* gedreht und in

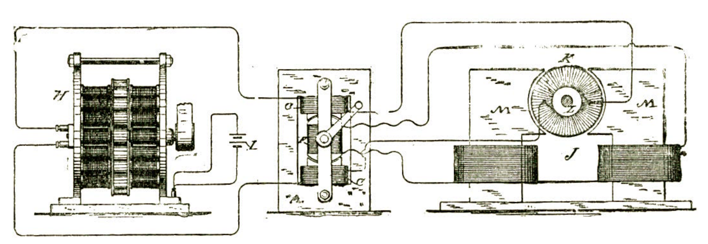


Fig. 36.

jeder gewünschten Lage festgehalten werden kann. Zu diesem Zwecke ist eine an dem vorspringenden Ende der Welle *D* angebrachte Kurbel *G* vorgesehen.

In Fig. 36 stelle *H* eine gewöhnliche Wechselstrommaschine dar, deren Feldmagnete durch eine geeignete Stromquelle *I* erregt werden. Ferner bezeichne *J* einen elektromagnetischen Motor gewöhnlicher Form mit einem Anker *K*, Kommutator *L* und Feldmagneten *M*. Bekanntlich kann ein solcher Motor, wenn seine Feldmagnetkerne in isolirte Abtheilungen getheilt sind, durch einen Wechselstrom praktisch betrieben werden; bei der Verwendung dieses Regulators in Verbindung mit einem solchen Motor schaltet Tesla aber nur ein Element des Motors, z. B. die Ankerspulen, in den Hauptstromkreis des Generators ein, wobei die Verbindungen durch die Bürsten und den Kommutator in der gewöhnlichen Weise hergestellt werden. Er schaltet ferner eins der Elemente des Regulators, z. B. die stationären Spulen, in denselben Stromkreis ein und legt die Feldspulen des Motors in einen Stromkreis mit der

sekundären oder beweglichen Spule des Regulators. Er benutzt ferner vorzugsweise flexible Leiter zur Herstellung der Verbindungen von der sekundären Spule des Regulators aus, da er hierdurch die Verwendung von Schleifkontakten oder Schleifringen vermeidet, ohne die erforderliche Bewegung des Kernes E zu beeinträchtigen.

Befindet sich der Regulator in seiner normalen Lage oder in derjenigen, in welcher der magnetische Stromkreis desselben am vollständigsten geschlossen ist, so liefert er seinen grössten inducirten Strom, dessen Phasen denjenigen des Primärstromes in der Weise entsprechen, dass der Motor läuft, als ob sowohl Feldmagnete wie Anker durch den Hauptstrom erregt würden.

Um die Geschwindigkeit des Motors zwischen der grössten und kleinsten Geschwindigkeit beliebig zu variiren, werden der Kern E und die Spulen F in der einen oder andern Richtung so weit gedreht, bis das gewünschte Resultat hervorgebracht wird. In der normalen Lage nämlich umfassen die Windungen der Spule F die grösste Anzahl von Kraftlinien, welche alle mit gleichem Effekt auf die Spule wirken; daher liefert sie ihren grössten Strom; dreht man aber die Spule F aus der Lage der maximalen Wirkung heraus, so wird die Zahl der von ihr umschlossenen Kraftlinien geringer. Die induktive Wirkung wird daher schwächer und der von der Spule F gelieferte Strom wird sich fortwährend verringern im Verhältniss zu dem Winkel, um welchen die Spule F gedreht wird, bis nach einer Drehung um 90^0 die Windungen der Spule rechtwinklig zu denen der Spulen CC stehen und die Induktionswirkung ihr Minimum erreicht.

Gelegentlich können bei gewissen Konstruktionen andere Ursachen die Variation in der Stärke der inducirten Ströme beeinflussen. Z. B. wird man im vorliegenden Falle bemerken, dass durch die erste Bewegung der Spule F ein gewisser Theil ihrer Windungen über die Linie des direkten Einflusses der Kraftlinien hinausgeführt und dass der magnetische Stromkreis für die Kraftlinien verschlechtert und daher die induktive Wirkung vermindert wird. Ferner werden, nachdem eine Drehung um einen gewissen Winkel, welcher offenbar durch die relativen Dimensionen der Spule F bestimmt wird, erfolgt ist, diagonal gegenüberliegende Theile der Spule gleichzeitig vom Felde eingeschlossen, aber in solcher Lage, dass die Linien, welche einen Stromimpuls in dem einen Theile der Spule in einer bestimmten Richtung erzeugen, in dem diagonal gegenüberliegenden Theile einen entsprechenden Stromimpuls in entgegengesetzter Richtung hervorbringen, sodass sich Theile des Stromes gegenseitig neutralisiren.

Wie vorher bemerkt, kann die mechanische Konstruktion der Vorrichtung in mannigfacher Weise abgeändert werden; die wesentlichen Bedingungen des Princips werden aber in jedem Apparate erfüllt sein, bei welchem die relative Bewegung der Elemente zu einander die nämlichen Wirkungen durch Variation der induktiven Beziehungen der beiden Elemente in einer der oben beschriebenen ähnlichen Weise hervorbringt.

Es möge ferner bemerkt werden, dass der Kern E für das Funktioniren des Regulators nicht unumgänglich nothwendig ist, jedoch ist das Vorhandensein desselben offenbar vortheilhaft. Dieser Regulator besitzt indessen eine andere werthvolle Eigenschaft in der Fähigkeit, die Bewegungsrichtung des Motors umzukehren; denn wenn die Spule F um eine halbe Umdrehung gedreht wird, so wird die Lage ihrer Windungen

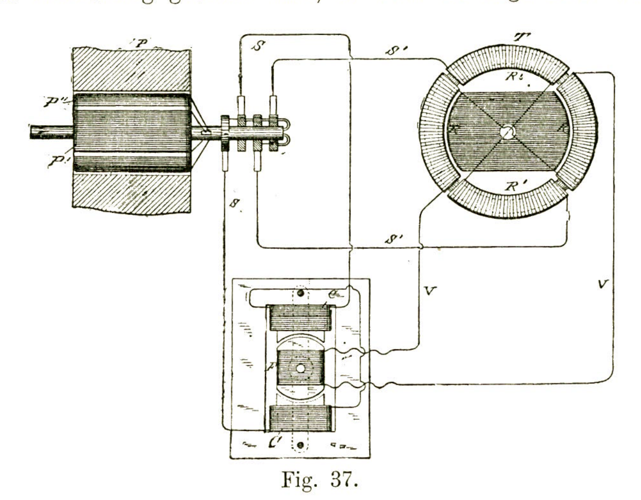


Fig. 37.

bezüglich der beiden Spulen CC und der Kraftlinien umgekehrt und demzufolge werden auch die Phasen des Stromes umgekehrt. Dies erzeugt eine Rotation des Motors in entgegengesetzter Richtung. Diese Art Regulator wird auch mit grossem Vortheil auf das Tesla'sche System der Benutzung von Wechselströmen angewendet, bei welchem die magnetischen Pole des Feldes eines Motors verschoben werden mittels der vereinigten, auf das Feld ausgeübten Wirkungen der magnetisirenden Spulen, die in von einander unabhängigen Stromkreisen eingeschaltet sind, durch welche Wechselströme in passender Reihenfolge und Beziehung zu einander hindurchgehen.

In Fig. 37 stelle P einen Tesla'schen Generator mit zwei unabhängigen Spulen P' und P'' auf dem Anker und T das Diagramm eines

Motors dar, welcher zwei unabhängige Erregungsspulen oder -Spulengruppen *RR'* besitzt. Der eine der vom Generator ausgehenden Stromkreise, z. B. *S' S'*, enthält die eine Gruppe *R' R'* der Erregungsspulen des Motors, während der andere Stromkreis *S S* die primären Spulen des Regulators enthält. Die sekundäre Spule des Regulators enthält die andern Spulen *R R* des Motors.

Während die Sekundärspule des Regulators in ihrer normalen Lage ist, erzeugt sie ihren Maximalstrom und dem Motor wird die grösste Drehwirkung mitgetheilt; diese Wirkung nimmt aber im Verhältniss zu dem Winkel ab, um welchen die Spule *F* des Regulators gedreht wird. Der Motor wird ferner umgesteuert durch Umkehrung der Lage der Spule mit Bezug auf die Spulen *CC*, wodurch die Phasen des vom Generator erzeugten Stromes umgekehrt werden. Dadurch wird die Richtung der Bewegung der wandernden Pole, welchen der Anker folgt, geändert.

Einer der Hauptvortheile dieser Regulirungsmethode ist der geringe Kraftverbrauch. Wenn die inducirte Spule ihren Maximalstrom erzeugt, findet der grösste Energieverbrauch in den primären Spulen statt; sobald aber die inducirte Spule aus ihrer normalen Lage herausgedreht wird, so reducirt die Selbstinduktion der Primärspulen den Energieverbrauch und spart an Kraft.

Es ist ersichtlich, dass in der Praxis entweder die Spulen *CC* oder die Spule *F* als primäre oder sekundäre Spule benutzt werden können, und es ist ohne weiteres verständlich, dass ihre relativen Proportionen derart variirt werden können, dass jeder gewünschte Unterschied oder jede beliebige Uebereinstimmung in den inducirenden und inducirten Strömen hervorgebracht werden kann.

---

8. Kapitel.

Von selbst angehende synchrone Motoren mit nur einem Stromkreise.

In den ersten Kapiteln dieses Abschnittes haben wir, immer unter Berücksichtigung des zu Grunde liegenden umfassenden Princips, eine ausgezeichnete Klasse von Motoren betrachtet, nämlich solche, welche zu ihrem Betriebe eines besonderen Generators bedürfen, welcher Ströme von verschiedener Phase zu liefern vermag. Natürlich war Tesla, der erkannte, dass es wünschenswerth sei, seine Motoren in Verbindung mit gewöhnlichen Vertheilungssystemen zu benutzen, eifrigst bestrebt, ver-

schiedene Methoden und Wege zu finden, auf denen sich dieses Ziel erreichen liess. In den nachfolgenden Kapiteln führen wir daher die Entwickelung einer Anzahl von Ideen vor, welche auf diesen wichtigen Theil seiner Arbeiten Bezug haben. Dem aufmerksamen Leser wird es aus einer Anzahl hier und dort zerstreuter Andeutungen klar werden, dass auch die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Erfindungen noch nicht das Endziel der nach dieser Richtung hin unternommenen Arbeiten vollständig darstellen. Sie können indessen als erläuternde Beispiele betrachtet werden.

Wir werden diese verschiedenen Erfindungen in der Reihenfolge vorführen, wie sie uns für die Mehrzahl der Leser zu einem Verständniss des Gegenstandes am zweckmässigsten zu sein scheint. Man wird natürlich begreifen, dass bei der Darstellung einer Reihe von Ideen dieser Art, bei der einige der Zwischenstadien und Zwischenglieder fehlen, die Beschreibungen nicht sämmtlich logisch auf einander folgen können; wer aber dem Gange der hier zusammengetragenen Gedanken sorgfältig folgt, wird finden, dass man sich einen befriedigenden Begriff von den Principien bilden kann.

Bekanntlich haben gewisse Formen von Wechselstrommaschinen die Eigenschaft, dass sie, wenn sie in den Stromkreis eines Wechselstromgenerators eingeschaltet sind, synchron mit demselben als Motor laufen. Während aber der Wechselstrom den Motor, nachdem er eine mit der Geschwindigkeit des Generators synchrone Geschwindigkeit erreicht hat, im Gange erhält, vermag er denselben nicht in Gang zu bringen. Deshalb sind in allen Fällen, in denen bisher diese sogenannten „synchronen“ Motoren benutzt worden sind, gewisse Mittel angewendet worden, um die Motoren in Synchronismus oder wenigstens nahezu in Synchronismus mit dem Generator zu bringen, ehe der Wechselstrom des Generators zum Betriebe derselben benutzt wird. In einigen Fällen sind mechanische Vorrichtungen zu diesem Zweck verwendet worden. In andern Fällen hat man besondere und komplicirte Formen von Motoren konstruirt. Tesla hat ein viel einfacheres Verfahren für den Betrieb synchroner Motoren angegeben, welches praktisch keinen andern Apparat weiter erfordert als den Motor selbst. Mit andern Worten, durch eine gewisse Aenderung in der Schaltungsweise des Motors verwandelt er letzteren nach Belieben aus einem Motor mit doppeltem Stromkreise oder einem Motor, wie er bereits beschrieben wurde und der unter der Wirkung eines Wechselstromes anläuft, in einen synchronen Motor oder in einen solchen, der vom Generator nur betrieben werden kann, wenn er eine gewisse Drehungsgeschwindigkeit erreicht hat, die mit derjenigen

des Generators synchron ist. Hierdurch vermochte er die Anwendungen seines Systems sehr bedeutend zu erweitern und demselben alle Vortheile beider Arten von Wechselstrommotoren zu sichern.

Der Ausdruck „synchron mit der Geschwindigkeit des Generators“ ist hier in seiner gewöhnlichen Bedeutung gebraucht, d. h. man sagt, ein Motor laufe synchron mit dem Generator, wenn er eine gewisse relative Geschwindigkeit beibehält, welche durch die Zahl seiner Pole und die Zahl der per Umdrehung des Generators erzeugten Stromwechsel bestimmt ist. Seine wirkliche Geschwindigkeit kann daher schneller oder langsamer sein als diejenige des Generators; er heisst jedoch synchron, so lange er dieselbe relative Geschwindigkeit behält.

Bei der Ausführung dieser Erfindung baut Tesla einen Motor, der eine starke Tendenz zum Synchronismus mit dem Generator besitzt. Die vorzugsweise angewendete Konstruktion ist die, bei welcher der Anker mit Polvorsprüngen versehen ist. Die Feldmagnete sind mit zwei Spulensystemen bewickelt, deren Enden mit einem Umschaltmechanismus verbunden sind, mittels dessen der Linienstrom entweder direkt durch diese Spulen oder indirekt durch Bahnen geleitet werden kann, auf denen seine Phasen geändert werden. Um einen solchen Motor in Gang zu setzen, wird der Umschalter auf eine Reihe von Kontakten gedreht, welche in den einen Motorstromkeis einen todten Widerstand, in den andern einen induktiven Widerstand einschalten, und da die beiden Stromkreise parallel geschaltet sind, so wird offenbar die Phasendifferenz der Ströme in diesen Stromkreisen eine Rotation des Motors erzeugen. Ist auf diese Weise die Geschwindigkeit des Motors zu der gewünschten Höhe gebracht, so wird der Schalthebel umgelegt, um den Hauptstrom direkt durch die Motorstromkreise zu senden; und obwohl die Ströme in beiden Stromkreisen nunmehr dieselbe Phase haben, so wird der Motor fortfahren sich zu drehen und ein wirklicher synchroner Motor werden. Um eine grössere Wirkung zu erzielen, ist der Anker oder dessen Polvorsprünge mit in sich selbst geschlossenen Spulen bewickelt.

Von den nachstehenden Diagrammen stellt Fig. 38 die Einzelheiten des vorstehend beschriebenen Planes und Fig. 39 und 40 Modifikationen desselben dar.

In Fig. 38 bezeichne A die Feldmagnete eines Motors, deren Polvorsprünge mit in unabhängigen Stromkreisen eingeschalteten Spulen BC umwickelt sind, und D den Anker mit Polvorsprüngen, welche in sich selbst geschlossene Spulen E tragen. Der Motor ist in dieser Beziehung in seiner Konstruktion den bereits beschriebenen ähnlich, nur dass er

wegen der Polvorsprünge am Ankerkern oder anderer ähnlicher und bekannter Einrichtungen die Eigenschaften eines Synchronmotors hat. LL' stellen die Zuleitungen von einem Wechselstromgenerator G dar.

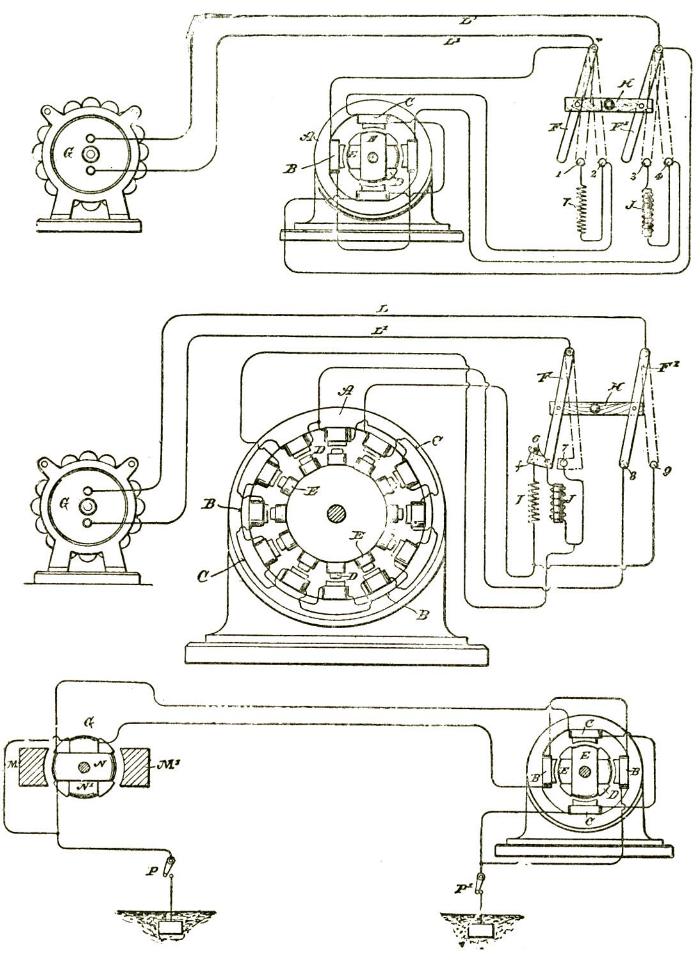


Fig. 38, 39, 40.

In der Nähe des Motors befindet sich ein Umschalter, dessen Wirkung in dem einen der Diagramme erläutert ist. FF' (Fig. 38) sind zwei leitende Platten oder Arme, die an ihrem einen Ende in Charniren beweglich und durch eine isolirende Querstange H derart verbunden sind, dass sie sich parallel zu einander bewegen. In der Bahn der Schienen FF' liegt der Kontakt *2*, welcher das eine Ende des durch

die Spulen *C* führenden Stromkreises bildet, und der Kontakt *4*, welcher das eine Ende des Stromkreises durch die Spulen *B* ist. Das andere Ende der Spulen *C* ist mit dem Drahte *L* oder der Schiene *F'* verbunden und das entsprechende Ende der Spulen *B* ebenso mit dem Drahte *L'* oder der Schiene *F*. Demnach werden, wenn die Schienen so bewegt werden, dass sie auf den Kontakten *2* und *4* aufliegen, beide Spulensysteme *B C* in Vielfachschaltung oder im Nebenschluss mit dem Stromkreise *L L'* verbunden sein. In der Bahn der Hebel *F F'* befinden sich ferner noch zwei andere Kontakte *1* und *3*. Der Kontakt *1* ist mit Kontakt *2* durch einen künstlichen Widerstand *I* und Kontakt *3* mit Kontakt *4* durch eine Selbstinduktionsspule *J* verbunden, so dass, wenn die Schalthebel auf die Kontakte *1* und *3* bewegt werden, die Stromkreise der Spulen *B* und *C* parallel oder in Nebenschluss zu dem Stromkreis *L L'* geschaltet werden und beziehungsweise den Widerstand und die Selbstinduktionsspule enthalten. Eine dritte Stellung des Umschalters ist die, wo die Hebel *F* und *F'* keinen der Kontakte berühren. In diesem Falle ist der Motor aus dem Stromkreise ganz ausgeschaltet.

Der Zweck dieser Vorrichtungen und die Art, wie der Motor mittels derselben bethätigt werden kann, geht aus folgendem hervor. In der normalen Lage, bei welcher der Motor aus dem Stromkreise ausgeschaltet ist, berührt der Umschalter keinen der Kontakte. Ist der Generator im Gange und wünscht man den Motor in Gang zu setzen, so wird der Umschalter bewegt, bis die Hebel auf den Kontakten *1* und *3* aufliegen. Die beiden Motorstromkreise sind auf diese Weise mit dem Generatorstromkreis verbunden; aber infolge des Vorhandenseins des Widerstandes *I* in dem einen und der Selbstinduktionsspule *J* in dem andern Stromkreise sind die Phasen des Stromes hinreichend verschieden, um ein Fortschreiten der Pole zu veranlassen und dadurch den Motor in Drehung zu versetzen. Ist die Geschwindigkeit des Motors mit derjenigen des Generators synchron oder nahezu synchron geworden, so wird der Umschalter auf die Kontakte *2* und *4* gelegt, wodurch die Spulen *I* und *J* ausgeschaltet werden, so dass die Ströme in beiden Stromkreisen dieselbe Phase haben. Der Motor läuft aber jetzt als Synchronmotor.

Man wird bemerken, dass der Motor, nachdem er die normale Geschwindigkeit erreicht hat, im Gange bleibt, während nur einer der Stromkreise *B* oder *C* mit dem Haupt- oder Generatorstromkreis verbunden ist, oder wenn die beiden Stromkreise hinter einander geschaltet werden. Diese letztere Methode ist vorzuziehen, wenn zum Betriebe des Motors ein Strom von hoher Wechselzahl per Zeiteinheit angewendet wird. In solchem Falle ist das Angehen des Motors schwieriger und es

müssen der todte und induktive Widerstand einen beträchtlichen Theil der elektromotorischen Kraft der Stromkreise aufnehmen. Im Allgemeinen sind die Verhältnisse derart abgeglichen, dass die in jedem der Motorstromkreise aufgewendete elektromotorische Kraft gleich derjenigen ist, welche zum Betriebe des Motors bei Hintereinanderschaltung seiner Stromkreise erforderlich ist. Der in diesem Falle befolgte Plan ist in Fig. 39 dargestellt. Hier hat der Motor zwölf Pole und der Anker hat Polvorsprünge *D*, welche mit geschlossenen Spulen *E* bewickelt sind. Der benutzte Umschalter ist im Wesentlichen von derselben Konstruktion wie der in der vorigen Figur dargestellte. Es sind jedoch fünf Kontakte vorhanden, welche mit *5*, *6*, *7*, *8* und *9* bezeichnet sind. Die Motorstromkreise *B C*, welche abwechselnde Feldspulen enthalten, sind mit den Kontakten in folgender Reihenfolge verbunden. Ein Ende des Stromkreises *C* ist mit Kontakt *9* und mit Kontakt *5* durch einen todten Widerstand *I* verbunden. Das eine Ende des Stromkreises *B* ist mit Kontakt *7* und mit Kontakt *6* durch eine Selbstinduktionsspule *J* verbunden. Die andern Enden beider Stromkreise sind in Verbindung mit Kontakt *8*.

Einer der Hebel, z. B. *F*, des Umschalters ist mit einem Ansatze *f* oder dergleichen versehen, so dass er beide Kontakte *5* und *6* berührt, falls er in die Anlaufstellung des Motors bewegt wird. Man bemerkt, dass, wenn sich der Umschalter in dieser Stellung und der Hebel *F'* auf Kontakt *8* befindet, der Strom sich in die beiden Stromkreise *B C* theilt, welche wegen ihres verschiedenen Verhaltens in elektrischer Beziehung ein Fortschreiten der Pole hervorbringen, welches den Motor in Drehung versetzt. Hat der Motor die geeignete Geschwindigkeit erlangt, so wird der Umschalter derart bewegt, dass die Hebel auf die Kontakte *7* und *9* zu liegen kommen und dadurch die Stromkreise *B* und *C* hintereinanderschalten. Bei dieser Anordnung behält der Motor seine Rotation in Synchronismus mit dem Generator bei.

Dieses Operationsprincip, welches darin besteht, dass man durch eine Aenderung der Schaltung oder auf eine andere Weise einen Motor mit doppeltem Stromkreis oder einen solchen, der infolge der fortschreitenden Verschiebung der Pole funktionirt, in einen gewöhnlichen synchronen Motor verwandelt, kann auch auf viele andere Arten ausgeführt werden. Z. B. kann man, um den Motor in Gang zu setzten, an Stelle des in den vorigen Figuren dargestellten Umschalters eine zeitweilige Erdverbindung zwischem dem Generator und Motor anwenden, etwa in der in Fig. 40 dargestellten Weise. In dieser Figur stelle *G* einen gewöhnlichen Wechelstromgenerator mit z. B. zwei Polen *MM'* und einem Anker dar, der

mit zwei rechtwinklig zu einander stehenden und hintereinander geschalteten Spulen NN' bewickelt ist. Der Motor habe z. B. vier Pole, welche mit hinter einander geschalteten Spulen BC bewickelt sind, und einen Anker mit Polansätzen D, deren Spulen EE kurzgeschlossen sind. Von der Vereinigungsstelle beider Stromkreise sowohl des Generators wie des Motors ist eine Erdverbindung hergestellt, während die Klemmen oder Enden dieser Stromkreise mit der Linie verbunden sind. Ist nun der Motor ein Synchronmotor oder einer, welcher die Fähigkeit besitzt, synchron mit dem Generator zu laufen, aber nicht von selbst anzugehen, so kann derselbe durch den oben beschriebenen Apparat in Gang gesetzt werden, indem man die Erdverbindung sowohl des Generators wie des Motors schliesst. Das System wird alsdann ein solches, bei dem Generator und Motor je zwei Stromkreise besitzen, indem die Erde eine gemeinschaftliche Rückleitung für die Ströme in den beiden Stromkreisen L und L' bildet. Ist durch diese Anordnung von Stromkreisen der Motor auf die richtige Geschwindigkeit gebracht, so wird die Erdverbindung des Motors oder Generators oder beider unterbrochen, zu welchem Zwecke die Ausschalter PP' verwendet werden. Der Motor läuft dann als Synchronmotor weiter.

Bei der Beschreibung der Haupteigenthümlichkeiten, welche diese Erfindung charakterisiren, sind nothwendiger Weise Illustrationen der Zubehörtheile weggelassen worden, wie sie in Verbindung mit den elektrischen Apparaten derartiger Systeme benutzt werden, wie z. B. der Treibriemen, fester und loser Triebscheiben für den Motor u. dgl.; aber dieses sind bekannte Sachen.

Tesla glaubt, der erste gewesen zu sein, der elektromagnetische Motoren durch Wechselströme auf eine der hier beschriebenen Weisen d. h. derart betrieben hat, dass er durch Wechselströme eine fortschreitende Bewegung oder Rotation ihrer Pole oder Punkte grösster magnetischer Anziehung erzeugt, bis sie eine gegebene Geschwindigkeit erreicht haben, und dann mit Hülfe derselben Ströme einen einfachen Wechsel ihrer Pole hervorbringt, oder, mit andern Worten, durch eine Aenderung in der Reihenfolge oder in dem Charakter der Stromkreisverbindungen einen nach dem einen Princip arbeitenden Motor in einen nach einem andern Princip funktionirenden verwandelt.

---

9. Kapitel.

Verwandlung eines Motors mit doppeltem Stromkreis in einen solchen mit einfachem Stromkreis.

Im Vorhergehenden ist eine Methode beschrieben, wie man Wechselstrommotoren dadurch betreiben kann, dass man zunächst ihre magnetischen Pole rotirt, bis sie eine synchrone Geschwindigkeit erreicht haben, und dann die Pole wechselt. Der Motor wird auf diese Weise durch einfache Aenderung der Stromkreisverbindungen aus einem durch die Wirkung zweier oder mehrerer unabhängiger Erregerströme bethätigten Motor in einen andern umgewandelt, der entweder durch einen einzigen Strom oder durch mehrere wie ein einziger Strom wirkende Ströme in Funktion gesetzt wird. Es soll jetzt ein anderes Verfahren, dies auszuführen, beschrieben werden.

Anfangs werden die magnetischen Pole des einen Elements oder des Feldes des Motors durch Wechselströme, welche in der Phase verschieden sind und durch unabhängige Erregerstromkreise gehen, verschoben und die Spulen des andern Elementes kurzgeschlossen. Sobald der auf diese Weise angelassene Motor die Grenze der mit dem Generator synchronen Geschwindigkeit erreicht hat, verbindet Tesla die vorher kurzgeschlossenen Spulen mit einer Gleichstromquelle und erzeugt durch eine Aenderung der Schaltungen einen einfachen Wechsel der Pole. Der Motor läuft dann synchron mit dem Generator weiter. Der in Fig. 41 dargestellte Motor ist einer von den gewöhnlichen Typen mit entweder untertheilten oder aus einem Stück bestehenden Feldkernen und mit einem untertheilten cylindrischen Anker, der z. B. mit den rechtwinklig zu einander stehenden Spulen $A B$ bewickelt ist. Die Ankerwelle trägt drei Kollektor- oder Kontaktringe $C D E$ (dieselben sind in der Figur der Deutlichkeit wegen von verschiedenem Durchmesser gezeichnet).

Das eine Ende der Spule A ist mit dem einen Ringe, z. B. mit C, und das eine Ende der Spule B mit dem Ringe D verbunden. Die andern Enden stehen mit dem Ringe E in Verbindung. Auf den Ringen schleifen Kollektorfedern oder Bürsten $F G H$, welche zu den Kontakten eines sogleich zu beschreibenden Umschalters führen. Die Feldspulen endigen in Klemmen $K K$ und können mittels eines Umschalters M entweder in sich kurzgeschlossen oder mit einer Gleichstromquelle L verbunden werden. Der Hauptumschalter hat fünf Kontakte a, b, c, d, e und zwei Hebel f, g, die in Charniren beweglich und mit einer isolirenden Querstange h derart verbunden sind, dass sie sich parallel zu einander bewegen. Diese Hebel sind mit den Zuführungsleitungen einer

Wechselstromquelle N verbunden. Kontakt a steht mit der Bürste G und der Spule B durch einen todten Widerstand R und Draht P in Verbindung. Kontakt b ist mit der Bürste F und Spule A durch eine Selbstinduktionsspule S und Draht O verbunden. Die Kontakte c und e sind mit den Bürsten GF bezüglich durch die Drähte P, O verbunden und Kontakt d ist direkt mit der Bürste H verbunden. Der Hebel f trägt einen Ansatz, mittels dessen er gleichzeitig die Kontakte $a\,b$ berühren

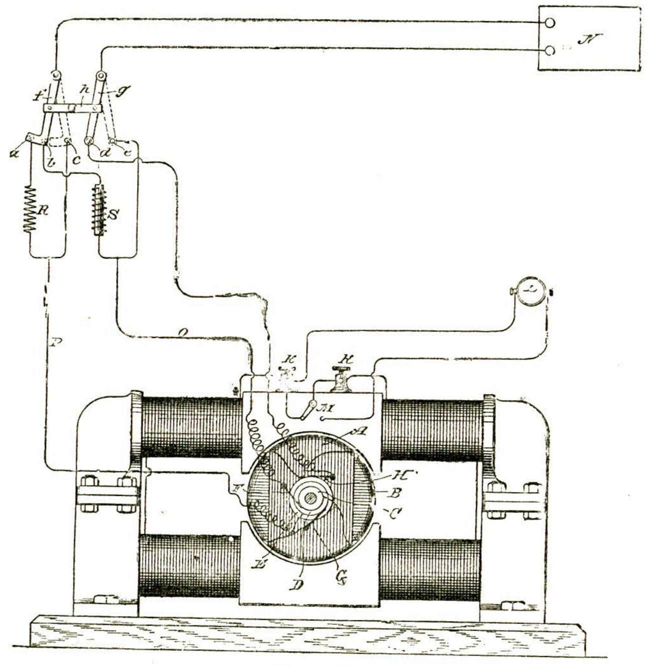


Fig. 41.

kann. Befindet sich der Hebel f in dieser Stellung und Hebel g auf Kontakt d, so theilen sich die Wechselströme zwischen den beiden Motorspulen und es wird infolge ihrer verschiedenen Selbstinduktion eine Differenz in der Stromphase erhalten, welche den Motor in Drehung versetzt. Beim Anlaufen sind die Feldspulen kurzgeschlossen.

Hat der Motor die gewünschte Geschwindigkeit erreicht, so wird der Umschalter in die durch gestrichelte Linien angedeutete Stellung umgelegt, d. h. die Hebel $f\,g$ werden auf die Kontakte $c\,e$ bewegt. Hierdurch werden die beiden Ankerspulen hinter einander geschaltet und der Motor läuft dann als Synchronmotor. Die Feldspulen werden nach Umlegung des Hauptumschalters in den Stromkreis der Gleichstromquelle eingeschaltet.

10. Kapitel.

Motor mit künstlich erzeugter Stromverspätung.

Eine der allgemeinen Methoden, welche Tesla bei der Ausarbeitung seiner Drehstrommotoren befolgte, besteht darin, dass er praktisch von einander unabhängige, sich primär in der Phase unterscheidende Ströme erzeugt und dieselben durch die Motorstromkreise sendet. Ein anderes Verfahren besteht darin, dass er einen einzigen Wechselstrom erzeugt, denselben zwischen den Motorstromkreisen theilt und in einem dieser Stromkreise, z. B. dadurch, dass er den Stromkreisen verschiedene Selbstinduktion giebt, oder in anderer Weise, künstlich eine Verspätung des Stromes hervorbringt. Im ersteren Falle, in welchem die erforderliche Phasendifferenz primär bei der Erzeugung der Ströme bewirkt wird, werden in einigen Beispielen die Ströme durch die Erregungsspulen beider Elemente — Feld und Anker — des Motors gesandt; eine weitere Modifikation indessen kann dadurch erreicht werden, dass man dies unter den Verhältnissen ausführt, wie sie unten im Falle von Motoren näher angegeben werden, bei denen die Verspätung, wie oben bemerkt, künstlich erzeugt wird.

Die Fig. 42 bis 47 incl. stellen schematisch die verschiedenen Wege dar, auf denen die Erfindung verwirklicht wurde, und Fig. 48 zeigt eine Seitenansicht einer von Tesla für diesen Zweck benutzten Motorform.

In Fig. 42 bedeuten $A\,B$ die beiden Erregerstromkreise eines Motors und $C\,D$ zwei Stromkreise am Anker. Stromkreis oder Spule A ist in Serie mit Stromkreis oder Spule C geschaltet und die beiden Stromkreise $B\,D$ sind in gleicher Weise verbunden. Zwischen den Spulen A und C befindet sich ein Kontaktring e, der das eine Ende der letzteren, und eine Bürste a, die das eine Ende der ersteren bildet. In ähnlicher Weise sind ein Kontaktring d und eine Bürste c mit den Spulen B und D verbunden. Die andern Enden der Feldspulen sind mit der einen Klemme h des Motors und diejenigen der Ankerspulen in ähnlicher Weise mit der andern Klemme i durch einen Kontaktring f und eine Bürste g verbunden. Auf diese Weise enthält jeder Motorstromkreis, während er sich in Parallelschaltung zu dem andern befindet, eine Anker- und eine Feldspule. Diese Stromkreise besitzen verschiedene Selbstinduktion und zwar kann dies auf verschiedene Weise erreicht werden.

Der Deutlichkeit wegen ist in einem dieser Stromkreise ein künstlicher Widerstand R und in dem andern eine Selbstinduktionsspule S dargestellt. Wird ein Wechselstrom durch diesen Motor gesandt, so theilt

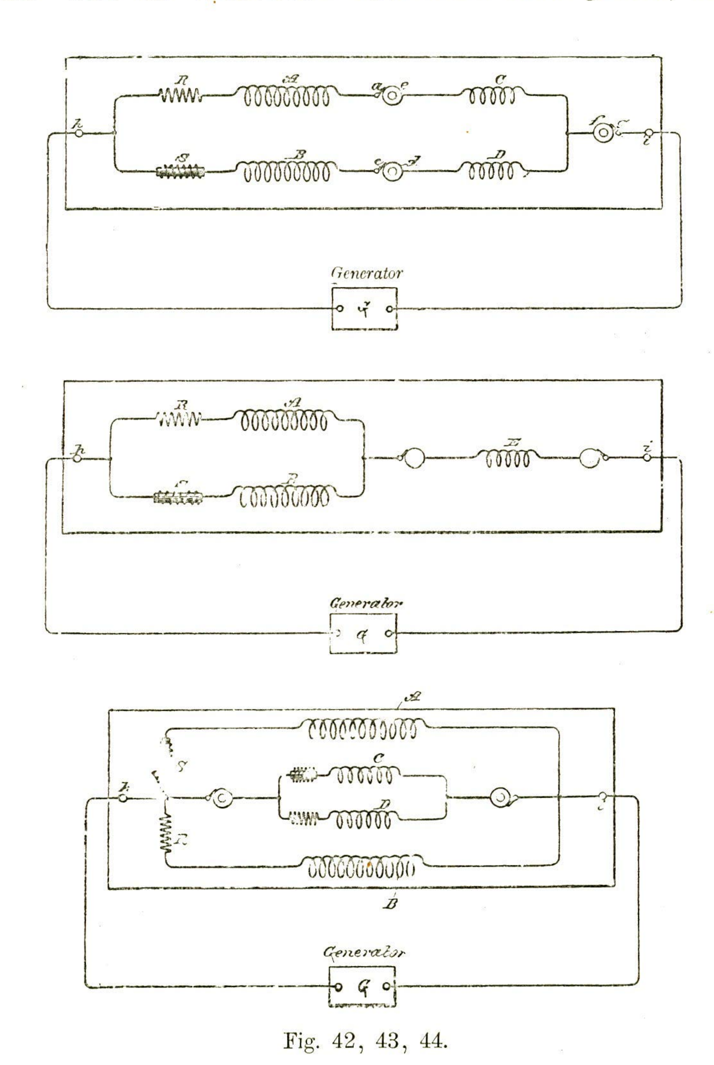


Fig. 42, 43, 44.

er sich zwischen den beiden Erregerstromkreisen des letzteren. Die höhere Selbstinduktion des einen Stromkreises erzeugt in dem darin fliessenden Strome eine grössere Verzögerung oder Verspätung wie in dem andern. Die Phasendifferenz zwischen den beiden Strömen bewirkt die Rotation oder Verschiebung der Punkte maximaler magnetischer

Wirkung, welche die Rotation des Ankers hervorbringt. In gewissen Beziehungen ist diese Methode der Hintereinanderschaltung von Anker- und Feldspulen eine entschiedene Verbesserung. Ein solcher Motor besitzt eine gute Anlaufszugkraft und doch hat er auch eine beträchtliche Tendenz zum Synchronismus infolge des Umstandes, dass bei geeigneter Konstruktion die maximalen magnetischen Wirkungen sowohl im Anker wie im Felde zusammenfallen, ein Verhältniss, welches bei der gewöhn-

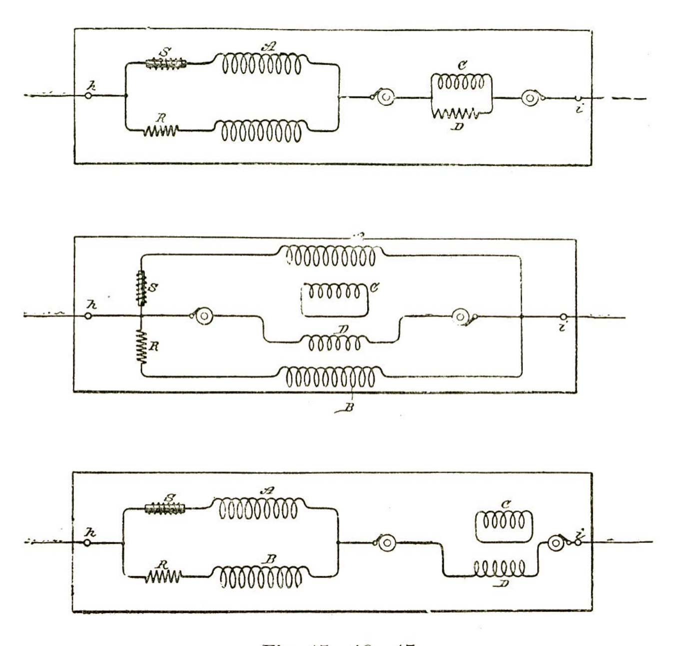


Fig. 45, 46, 47.

lichen Konstruktion dieser Motoren mit geschlossenen Ankerspulen nicht leicht erreicht wird. Ein derartig konstruirter Motor ermöglicht zudem eine bessere Regulirung des Stromes vom Leerlauf zur Belastung, und der Unterschied zwischen der zum Betriebe desselben aufgewendeten scheinbaren und wirklichen Energie ist geringer. Die wahre synchrone Geschwindigkeit dieser Motorform ist dieselbe wie die des Generators, wenn beide einander gleich sind, d. h. wenn die Anzahl der Spulen auf dem Anker und den Feldmagneten x ist, so wird der Motor normal bei derselben Geschwindigkeit laufen wie ein denselben treibender Generator, wenn die Zahl der Feldmagnete oder Pole desselben ebenfalls x ist.

Fig. 43 zeigt eine etwas modificirte Anordnung der Stromkreise. In diesem Falle ist nur eine Ankerspule *E* vorhanden, deren Windung Wirkungen hervorbringt, welche denjenigen der durch die beiden Feldstromkreise erzeugten resultirenden Pole entsprechen.

Fig. 44 stellt eine Anordnung dar, bei welcher sowohl Anker als Feldmagnet mit zwei Systemen von Spulen bewickelt sind, die sämmtlich in Parallelschaltung mit dem Linien- oder Hauptstromkreis verbunden sind. Die Ankerspulen sind derart gewickelt, dass sie den Feldspulen hinsichtlich ihrer Selbstinduktion entsprechen. Eine Abänderung dieser Methode ist in Fig. 45 dargestellt, d. h. die beiden Feldspulen und die beiden Ankerspulen sind je unter sich parallel und mit einander hinter einander geschaltet. Die Ankerspulen sind in diesem Falle, wie in der vorhergehenden Figur, für verschiedene Selbstinduktion entsprechend den Feldspulen gewickelt.

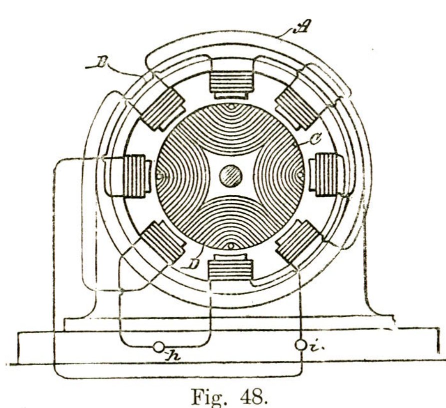


Fig. 48.

Eine andere Modifikation ist aus Fig. 46 ersichtlich. In diesem Falle ist nur eine Ankerspule, z. B. *D*, in den Linienkreis eingeschaltet, während die andere, z. B. *C*, kurzgeschlossen ist.

Bei einer Disposition wie in Fig. 43, oder wo nur eine Ankerspule benutzt ist, ist die Anlaufszugkraft etwas vermindert, während die Tendenz zum Synchronismus etwas stärker ist. Bei der in Fig. 46 dargestellten Anordnung ist das Umgekehrte der Fall. Beide Methoden aber bieten den Vortheil, dass der eine Kontaktring fortfällt.

In Fig. 46 sind die beiden Feldspulen und die Ankerspule *D* parallel geschaltet. In Fig. 47 ist diese Anordnung modificirt, indem Spule *D* mit den beiden Feldspulen in Serie geschaltet ist.

Fig. 48 giebt eine Skizze der allgemeinen Form eines Motors, bei welchem diese Erfindung angewandt ist. Die Verbindungen zwischen den Anker- und Feldspulen sind, wie in den vorstehenden Figuren angedeutet, mittels Bürsten und Schleifringen, die in der Figur nicht mit dargestellt sind, ausgeführt.

11. Kapitel.

Andere Methode zur Verwandlung eines von selbst angehenden Motors in einen synchronen Motor.

In einem früheren Kapitel haben wir eine Methode beschrieben, durch welche Tesla bei seiner Type von Drehfeldmotoren die Umwandlung eines Motors mit Anlaufszugkraft in einen synchronen Motor bewerkstelligt. Das beabsichtigte Ziel wird dort durch eine im geeigneten Augenblick vorgenommene Aenderung in der Schaltungsart erreicht. Wir wollen nun einen andern Weg zur Erreichung desselben Resultats beschreiben. Das dieser Methode zu Grunde liegende Princip ist folgendes.

Wird ein Wechselstrom nur durch die Feldspulen eines Motors gesandt, welcher zwei Erregerstromkreise von verschiedener Selbstinduktion besitzt, und werden die Ankerspulen kurzgeschlossen, so besitzt der Motor eine starke Anlaufskraft, aber nur geringe oder gar keine Tendenz zum Synchronismus mit dem Generator. Lässt man jedoch denselben Strom, welcher das Feld erregt, auch durch die Ankerspulen gehen, so wird die Tendenz, im Synchronismus zu verharren, sehr erheblich vergrössert. Dies rührt von dem Umstande her, dass die in dem Felde und dem Anker erzeugten maximalen magnetischen Wirkungen näher mit einander zusammenfallen. Nach diesem Princip konstruirt Tesla einen Motor, der von einander unabhängige Feldstromkreise von verschiedener Selbstinduktion besitzt, welche in Parallelschaltung mit einer Wechselstromquelle verbunden sind. Der Anker ist mit einer oder mit mehreren Spulen bewickelt, die mit den Feldspulen vermittelst Kontaktringen und Bürsten verbunden sind, und um die Ankerspulen ist ein Nebenschluss angeordnet nebst einer Vorrichtung, um denselben zu öffnen oder zu schliessen. Beim Angehen dieses Motors wird der Nebenschluss um die Ankerspulen geschlossen, wodurch dieselben kurzgeschlossen werden. Wenn der Strom durch den Motor gesandt wird, theilt er sich zwischen den beiden Stromkreisen (man braucht nur den Fall zu betrachten, wo nur zwei Stromkreise vorhanden sind), welche infolge ihrer verschiedenen Selbstinduktion eine Phasendifferenz zwischen den beiden Strömen in den beiden Zweigen erzeugen, die eine Verschiebung oder Rotation der Pole hervorbringt. Durch die Stromwechsel werden andere Ströme in den geschlossenen Ankerspulen inducirt und der Motor besitzt ein starkes Drehmoment. Ist die gewünschte Geschwindigkeit erreicht, so wird der Nebenschluss um die Ankerspulen

geöffnet und der Strom sowohl durch die Anker- wie durch die Feldspulen geschickt. Unter diesen Verhältnissen hat der Motor eine starke Tendenz zum Synchronismus.

In Fig. 49 bezeichnen A und B die Feldspulen des Motors. Da die diese Spulen enthaltenden Stromkreise verschiedene Selbstinduktion besitzen sollen, so ist dies durch eine Widerstandsspule R in Hinter-

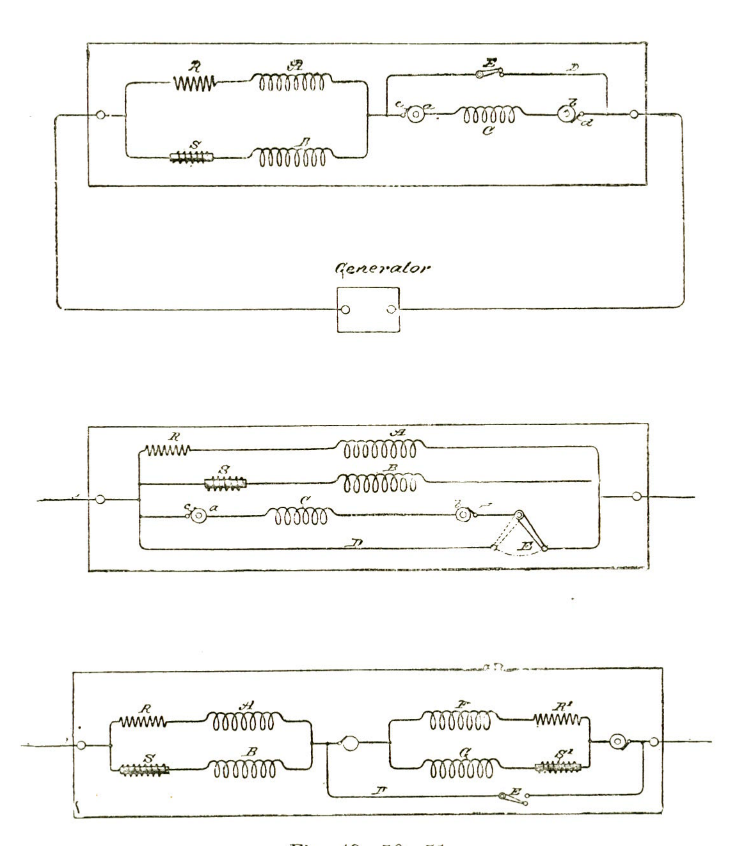


Fig. 49, 50, 51.

einanderschaltung mit A und eine Selbstinduktionsspule S in Hintereinanderschaltung mit B dargestellt. Dasselbe Resultat lässt sich natürlich durch die Wickelung der Spulen erreichen. C ist der Ankerstromkreis, dessen Enden von den Kontaktringen $a\,b$ gebildet werden. Auf diesen Ringen schleifen Bürsten $c\,d$ und stellen die Verbindungen mit dem Linien- und dem Feldstromkreise her. D ist der Nebenschluss oder Kurzschluss um den Anker, E der Schalter im Nebenschluss.

Wie ersichtlich, findet bei einer Disposition nach Art der in Fig. 49 dargestellten wegen der verschiedenen Selbstinduktion der Feldstromkreise A und B stets in dem einen Stromkreise eine grössere Verzögerung statt wie in dem andern und im Allgemeinen werden die Ankerphasen weder mit der Phase des einen noch mit der des andern, sondern vielmehr mit der aus beiden resultirenden Phase übereinstimmen. Die Beobachtung der richtigen Vorschrift bei der Wickelung des Ankers ist daher von Wichtigkeit. Wenn z. B. der Motor acht Pole, vier in jedem Stromkreise, besitzt, so wird es vier resultirende Pole geben und daher muss die Ankerwickelung derart sein, dass vier Pole entstehen, um einen wirklichen synchronen Motor zu erhalten.

Das Diagramm Fig. 50 unterscheidet sich von dem vorhergehenden nur durch die Reihenfolge der Verbindungen. Im vorliegenden Falle befindet sich die Ankerspule anstatt in Serie mit den Feldspulen in Parallelschaltung mit denselben. Die Ankerwickelung kann derjenigen des Feldes analog sein, d. h. der Anker kann zwei oder mehr Spulen besitzen, welche für verschiedene Selbstinduktion gewickelt sind und insbesondere die nämliche Phasendifferenz wie die Feldspulen zu erzeugen vermögen. Beim Anlassen des Motors wird der Nebenschluss um beide Spulen geschlossen. Dies ist in Fig. 51 dargestellt, in welcher $F\ G$ die Ankerspulen sind. Um ihr verschiedenes elektrisches Verhalten anzudeuten, sind in Hintereinanderschaltung mit denselben bezüglich der Widerstand R' und die Selbstinduktionsspule S' angebracht. Die beiden Ankerspulen befinden sich in Serie mit den Feldspulen und es ist die nämliche Anordnung des Neben- oder Kurzschlusses D benutzt. Für den Betrieb von Motoren dieser Art ist es vortheilhaft, den Anker in der Weise zu konstruiren oder zu wickeln, dass derselbe, wenn beim Angehen kurgeschlossen, die Tendenz hat, eine grössere Geschwindigkeit anzunehmen als die, bei welcher Synchronismus mit dem Generator stattfindet. Es möge z. B. ein gegebener Motor mit etwa acht Polen bei kurzgeschlossener Ankerspule 2000 Umdrehungen per Minute machen müssen, um in Synchronismus zu kommen. Im Allgemeinen wird diese Geschwindigkeit jedoch nicht erreicht werden, infolge des Umstandes, dass die Anker- und Feldströme nicht genau übereinstimmen, so dass, wenn der Strom durch den Anker geht (während der Motor noch nicht vollständig synchron läuft), ein gewisser Hang besteht, aus dem Tritt zu fallen. Es ist daher besser, den Motor derart zu wickeln oder zu konstruiren, dass derselbe beim Anlaufen, wenn die Ankerspulen kurz geschlossen sind, eine höhere Geschwindigkeit als die synchrone, z. B. die doppelte der letzteren, zu erreichen strebt. In solchem Falle macht

sich die oben erwähnte Schwierigkeit nicht fühlbar, da der Motor stets den Synchronismus zu behalten sucht, wenn die synchrone Geschwindigkeit — im angenommenen Falle 2000 Umdrehungen — erreicht oder überschritten ist. Dies kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden; für alle praktischen Zwecke aber wird folgende Methode genügen: Auf den Anker werden zwei Spulensysteme aufgewickelt. Beim Angehen wird nur eins derselben kurzgeschlossen, wodurch eine Anzahl von Polen auf dem Anker erzeugt wird, welche die Geschwindigkeit über die synchrone hinaus zu erhöhen suchen. Ist diese Grenze erreicht oder überschritten, so wird der Strom durch die andere Spule gesandt, welche, durch Vermehrung der Anzahl der Ankerpole, den Synchronismus zu erhalten strebt.

In Fig. 52 ist eine solche Anordnung dargestellt. Der Motor, der z. B. acht Pole haben möge, enthält zwei Feldstromkreise A und B von

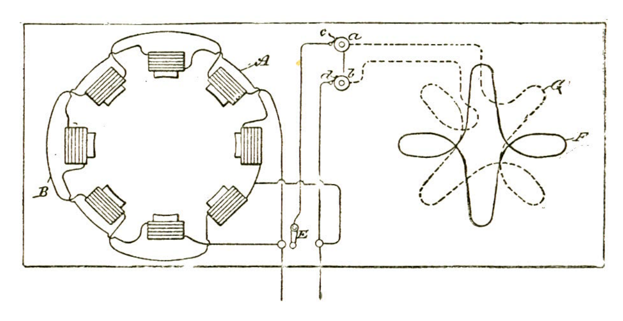


Fig. 52.

verschiedener Selbstinduktion. Der Anker trägt zwei Spulen F und G. Die erstere ist in sich selbst geschlossen, die letztere mit dem Felde und der Linie mittels Kontaktringen $a\,b$, Bürsten $c\,d$ und eines Umschalters E verbunden. Beim Anlaufen ist die Spule F allein wirksam und der Motor sucht eine über der synchronen liegende Geschwindigkeit anzunehmen; wenn aber die Spule G mit dem Stromkreis verbunden wird, so nimmt die Zahl der Ankerpole zu und der Motor wird ein wirklicher synchroner Motor. Diese Disposition besitzt den Vortheil, dass der geschlossene Ankerstromkreis dem Motor ein Drehmoment mittheilt, wenn die Geschwindigkeit abfällt, aber zu gleicher Zeit liegen die Verhältnisse so, dass der Motor leichter aus dem Synchronismus kommt. Um das Streben nach Synchronismus zu verstärken, kann man zwei Stromkreise am Anker anbringen, von denen der eine beim Angehen kurzgeschlossen wird und die beide mit dem äusseren Stromkreise

verbunden werden, nachdem die synchrone Geschwindigkeit erreicht oder überschritten ist. Die betreffende Disposition ist in Fig. 53 dargestellt. Es sind dabei drei Kontaktringe *a b e* und drei Bürsten *c d f* vorhanden, welche die Ankerstromkreise mit dem äusseren Stromkreise

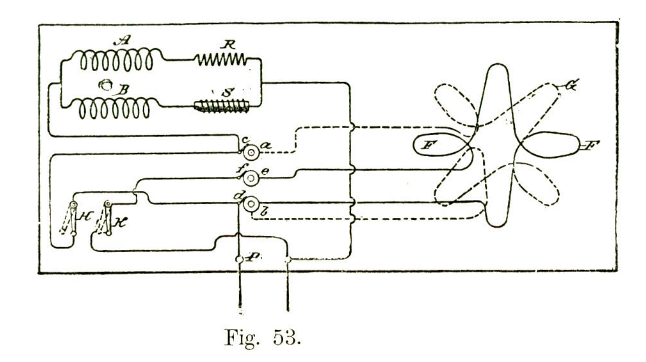


Fig. 53.

verbinden. Beim Anlaufen wird der Schalter *H* so gestellt, dass die Verbindung zwischen der einen Klemme *P* und den Feldspulen hergestellt wird. Hierdurch wird die eine der Ankerspulen, z. B. *G*, kurzgeschlossen. Die andere Spule *F* ist aus dem Stromkreis ausgeschaltet und offen. Besitzt der Motor die erforderliche Geschwindigkeit, so wird der Schalter *H* zurückgedreht, so dass die Verbindung von der Klemme *P* nach den Feldspulen über die Spule *G* geht, und Schalter *K* wird geschlossen, wodurch die Spule *F* mit den Feldspulen parallel geschaltet wird. Auf diese Weise werden beide Ankerspulen wirksam.

Aus den oben beschriebenen Beispielen ist ersichtlich, dass viele andere Anordnungen zur Ausführung der Erfindung möglich sind.

---

12. Kapitel.

Durch magnetische Remanenz wirkender Motor.

Die folgende Beschreibung behandelt eine andere Form eines Motors, welche auf der Remanenz des Magnetismus oder der Hysteresis beruht und deren besondere Eigenthümlichkeit darin besteht, dass bei ihr die Attraktionswirkungen oder Phasen zwar hinter den Phasen des sie erzeugenden Stromes zurückbleiben, aber gleichzeitig und nicht nach einander auftreten. Die Erscheinung, welche auf diese Weise schon frühzeitig von Tesla verwerthet wurde, fand in der wissenschaftlichen Welt

keinen rechten Glauben und Prof. Ayrton war wahrscheinlich der erste, welcher sie vertheidigte und den Grund ihrer muthmasslichen Existenz klarlegte.

Fig. 54 giebt im Aufriss eine Seitenansicht des Motors, während Fig. 55 einen Schnitt senkrecht zu der in Fig. 54 dargestellten Ansicht zeigt. Fig. 56 stellt im Aufriss eine Endansicht und theilweisen Schnitt einer Abänderung dar und Fig. 57 giebt eine ähnliche Ansicht einer anderen Modifikation.

In Fig. 54 und 55 bezeichnet *A* eine Grundplatte oder das Fundament und *BB* das Traggestell des Motors. Mit dem Gestell verniethet sind zwei Magnetkerne oder Polstücke *C C'* aus Eisen oder weichem

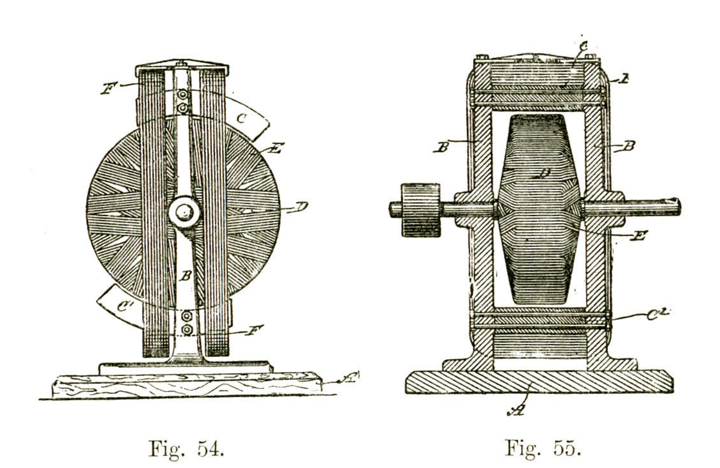


Fig. 54. Fig. 55.

Stahl. Dieselben können untertheilt oder laminirt sein, in welchem Falle Platten aus hartem Eisen oder Stahl oder derartige Schienen angewendet werden sollten, oder sie sind mit geschlossenen Spulen zu bewickeln. *D* ist eine kreisförmige Ankerscheibe, welche aus Eisenplatten aufgebaut und in dem Gestell zwischen den Polstücken *C C'*, die entsprechend der kreisförmigen Gestalt des Ankers gekrümmt sind, montirt ist. Diese Scheibe kann mit einer Anzahl geschlossener Spulen *E* bewickelt sein. *FF* sind die Haupterregungsspulen, die von dem Gestell getragen werden, derart dass sie sowohl die Polstücke *C C'* als auch den Anker *D* magnetisch beeinflussen können. Die Polstücke *C C'* ragen, wie in den Figuren angegeben, nach entgegengesetzten Seiten über die Spulen *FF* hinaus. Geht ein Wechselstrom durch die Spulen *FF*, so wird eine Rotation des Ankers erzeugt und diese Rotation erklärt sich durch die folgende Wirkungsweise. Ein Stromimpuls in den

Spulen *FF* erzeugt zwei Polaritäten in dem Motor. Z. B. wird das hervorstehende Ende des Polschuhes *C* von dem einen Zeichen und das entsprechende Ende des Polschuhes *C'* vom entgegengesetzten Zeichen sein. Der Anker besitzt ebenfalls zwei Pole unter rechten Winkeln zu den Spulen *FF* und zwar liegen die zu den Polen an den Polschuhen gleichnamigen Pole auf derselben Seite der Spulen. Während der Strom fliesst, wird keine merkliche Tendenz zur Rotation hervorgebracht; wenn aber der Stromimpuls aufhört oder abzufallen beginnt, bleibt der Magnetismus in dem Anker und in den Enden der Polschuhe *C C'* noch zurück oder dauert noch eine Weile an, wodurch eine Rotation des Ankers infolge der abstossenden Kraft zwischen den sich mehr nähernden

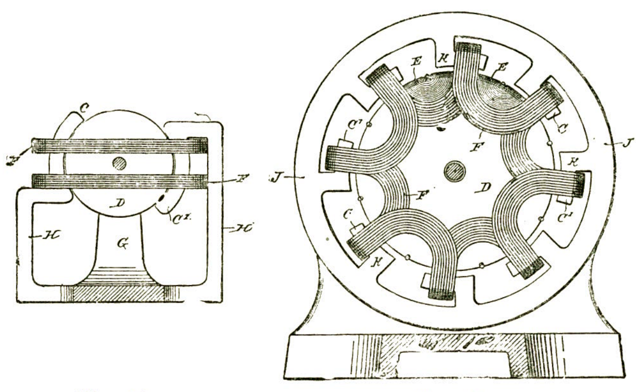


Fig. 56. Fig. 57.

Punkten grösster magnetischer Wirkung entsteht. Diese Wirkung wird fortgesetzt durch die Umkehrung des Stromes, wobei die Polaritäten des Feldes und des Ankers einfach umgekehrt werden. Eins der Elemente — Anker oder Feld — oder auch beide können zur Verstärkung dieser Wirkung mit geschlossenen inducirten Spulen bewickelt werden. Obwohl in den Figuren nur eins der Felder dargestellt ist, bildet in Wirklichkeit jedes Element des Motors, welches mit den geschlossenen Spulen bewickelt ist, ein Feld, indem die Ströme hauptsächlich in denjenigen Windungen oder Spulen inducirt werden, welche parallel zu den Spulen *FF* sind.

Eine modificirte Form dieses Motors ist in Fig. 56 dargestellt. In dieser Figur ist *G* einer der beiden Träger, welche die Lager für die Ankerwelle tragen. *HH* sind Streben oder Seiten eines Rahmens, am besten aus magnetischem Material, deren Enden *C C'* in der angegebenen Weise gebogen sind, so dass sie sich der Form des Ankers *D* anpassen

und die Feldmagnetpole bilden. Die Konstruktion des Ankers kann dieselbe sein wie bei der vorigen Figur, oder er kann auch einfach, wie in der Figur dargestellt, eine magnetische Scheibe oder ein Cylinder sein, und eine Spule oder Spulen FF sind in solcher Lage angebracht, dass sie sowohl den Anker wie die Pole $C C'$ umschliessen. Der Anker kann von seiner Welle abgenommen werden; letztere wird durch den Anker hindurchgesteckt, nachdem derselbe an Ort und Stelle gebracht ist. Diese Motorform funktionirt im Princip auf dieselbe Weise wie die vorher beschriebene und eine weitere Erklärung dürfte überflüssig sein.

Einer der wichtigsten Punkte bei Wechselstrommotoren ist jedoch, dass sie geeignet und fähig sein müssen, in den gegenwärtig gebräuchlichen Wechselstromkreisen, in denen beinahe ohne Ausnahme die Generatoren eine sehr hohe Zahl von Wechseln geben, mit Erfolg verwendet zu werden. Einen solchen Motor von der in Rede stehenden Type hat Tesla durch Weiterentwicklung des Princips des in Fig. 56 dargestellten Motors zu Stande gebracht, indem er einen Multipolarmotor baute, welcher in Fig. 57 dargestellt ist. Bei der Konstruktion dieses Motors verwendet er ein ringförmiges Magnetgestell J mit nach innen hervorstehenden Rippen oder Ansätzen K, deren Enden nach einer und derselben Richtung umgebogen und derart geformt sind, dass sie sich der krummen Oberfläche des Ankers anpassen. Von je einem Theile K nach dem zunächst liegenden sind Spulen FF gewickelt, derart dass die Enden oder Schleifen jeder Spule oder Gruppe von Drähten gegen die Welle hin geführt sind und U-förmige Gruppen von Windungen an jedem Ende des Ankers bilden. Die Polschuhe $C C'$, welche im Wesentlichen koncentrisch mit dem Anker sind, bilden Zungen, an denen die Spulen entlang gelegt sind, und die, wie dargestellt, etwas über die Spulen hinausragen. Der Cylinder- oder Trommelanker D ist von derselben Konstruktion, wie bei den andern beschriebenen Motoren, und ist derart montirt, dass er innerhalb des Ringgestelles J und zwischen den U-förmigen Enden oder Ausbiegungen der Spulen F rotiren kann. Die Spulen F sind in Parallel- oder Hintereinanderschaltung mit einer Wechselstromquelle verbunden und derart gewickelt, dass sie bei einem Strom oder Stromimpuls von gegebener Richtung in den abwechselnden Polschuhen C die eine und in den übrigen Polschuhen C' die entgegengesetzte Polarität hervorbringen. Das Funktionirungsprincip dieses Motors ist dasselbe wie bei den andern oben beschriebenen; denn betrachtet man irgend zwei Polschuhe $C C'$, so wird ein Stromimpuls durch diejenige Spule, welche beide verbindet oder über beide gewickelt ist, in ihren Enden Polaritäten von entgegengesetzten Vorzeichen und in dem Ankerkern zwischen ihnen

eine Polarität von demselben Vorzeichen wie die des nächstgelegenen Polschuhes C hervorzubringen suchen. Beim Abfallen oder Aufhören des Stromimpulses, welcher diese Polaritäten erzeugte, bringt der Magnetismus, welcher hinter der Stromphase zurückbleibt und fortfährt, in den Polvorsprüngen $C\,C'$ und im Anker sich zu äussern, durch Abstossung eine Rotation des Ankers hervor. Diese Wirkung wird durch jede Umkehrung des Stromes fortgesetzt. Was in einem Paar von Polschuhen vorgeht, geht gleichzeitig in allen vor, so dass die Tendenz zur Rotation des Ankers durch die Summe der Kräfte, welche in der oben beschriebenen Weise von den Polschuhen ausgeübt werden, bestimmt wird. Bei diesem Motor wird ferner die magnetische Remanenz oder Wirkung verstärkt, wenn man einen oder beide Kerne mit geschlossenen inducirten Spulen bewickelt. Der Ankerkern ist als in dieser Weise gewickelt dargestellt. Werden geschlossene Spulen benutzt, so sollten die Kerne untertheilt sein.

Es ist ersichtlich, dass nicht nur ein Wechselstrom, sondern ebenso gut auch ein pulsirender Strom zum Betriebe von Motoren der beschriebenen Art benutzt werden könnte.

Natürlich müssen, um einen derartigen Motor richtig zu konstruiren, der Grad der Untertheilung, die Masse des Eisens in den Kernen, deren Grösse und die Zahl der Wechsel des zum Betriebe des Motors verwendeten Stromes in Betracht gezogen werden. Mit andern Worten, bei allen diesen Motoren müssen die richtigen Verhältnisse zwischen der Zahl der Wechsel und der Masse, Grösse oder Qualität des Eisens innegehalten werden, um die besten Resultate zu erzielen.

---

13. Kapitel.

Methode zur Erzielung der Phasendifferenz mittels magnetischer Schirmwirkung.

Bei derjenigen Klasse von Motoren, bei welchen zwei oder mehrere Reihen von Erregermagneten angewendet werden und bei denen durch künstliche Mittel bewirkt wird, dass zwischen den Perioden oder Phasen, an denen das Maximum oder Minimum ihrer magnetischen Attraktion eintritt, eine gewisse Zeit vergeht, ist die Phasendifferenz zwischen beiden Reihen von Magneten in ihrer Grösse begrenzt. Für das ökonomische Arbeiten solcher Motoren ist es jedoch wünschenswerth, dass die Stärke oder Attraktion der einen Reihe von Magneten zu derselben

Zeit am grössten ist, wo die der andern Reihe ein Minimum ist und umgekehrt. Diese Verhältnisse sind aber bisher nur in Fällen verwirklicht worden, wo die beiden Ströme aus unabhängigen Quellen derselben Maschine oder verschiedener Maschinen erhalten wurden. Tesla hat daher einen Motor ersonnen, bei welchem Verhältnisse stattfinden, die sich mehr den theoretischen Anforderungen eines vollkommenen Betriebes nähern, oder mit andern Worten, er erzeugt künstlich mittels eines Stromes aus einer einzigen primären Quelle eine magnetische Phasendifferenz, die gross genug ist, um den Anforderungen des praktischen und ökonomischen Betriebes zu entsprechen. Er wendet einen Motor mit zwei Reihen von Erreger- oder Feldmagneten an, deren jeder mit Spulen bewickelt ist, die mit einer Wechselstromquelle oder einer Quelle rasch variirender Ströme verbunden sind, aber zwei getrennte Stromkreise bilden. Die Magnete der einen Reihe sind bis zu einem gewissen Grade vor der magnetisirenden Wirkung des Stromes mittels eines magnetischen Schildes oder Schirmes geschützt, der zwischen den Magnet und seine Magnetisirungsspule gesetzt ist. Dieser Schild wird den Verhältnissen jedes besonderen Falles angepasst, derart dass er den Hauptkern vor der Magnetisirung schützt, bis er selbst gesättigt und nicht länger mehr fähig ist, alle vom Strome erzeugten Kraftlinien in sich aufzunehmen. Wie man sieht, wird durch dieses Hülfsmittel die magnetisirende Wirkung in der geschützten Reihe von Magneten um eine gewisse willkürlich bestimmte Zeitdauer später beginnen als in der andern und wird durch dieses Mittel allein oder in Verbindung mit andern früher angewendeten Methoden oder Vorrichtungen ein praktisch brauchbarer Unterschied in der magnetischen Phase leicht erreicht werden können.

Fig. 58 stellt einen Motor, zum Theil im Schnitt, durch ein die Erfindung erläuterndes Diagramm dar. Fig. 59 ist eine ähnliche Darstellung einer Modifikation desselben.

In Fig. 58, welche die einfachste Ausführung der Erfindung darstellt, bedeutet *A A* den Feldmagneten eines Motors mit z. B. acht Polen oder nach innen vorspringenden Kernen *B* und *C*. Die Kerne *B* bilden die eine Reihe von Magneten und werden durch die Spulen *D* erregt. Die die andere Reihe von Magneten bildenden Kerne *C* werden von den Spulen *E* magnetisirt und die Spulen sind, am besten in Hintereinanderschaltung unter einander, in zwei von einer geeigneten Stromquelle gespeisten Stromkreisen *F*, *G* respektive eingeschaltet. Jede Spule *E* ist mit einem magnetischen Schirme *H* umgeben, der am besten aus einem ausgeglühten, isolirten oder oxydirten Eisendraht besteht, welcher

über die Spulen in der angedeuteten Weise derart gewickelt ist, dass er um die Spulen und zwischen ihnen und den Magnetkernen *C* einen geschlossenen magnetischen Kreis bildet. Zwischen den Polstücken oder Kernen *B C* ist der Anker *K* montirt, welcher, wie bei dieser Maschinentype üblich, mit in sich selbst geschlossenen Spulen *L* bewickelt ist. Die aus dieser Dispositon sich ergebende Wirkungsweise ist folgende: Wenn ein Stromimpuls durch die beiden Stromkreise des Motors gesandt wird, so wird derselbe die Kerne *B* schnell magnetisiren, nicht so aber die Kerne *C*, weil ihm beim Durchgang durch die Spulen *E* der Einfluss der von den Schirmen *H* gebildeten geschlossenen magnetischen Stromkreise entgegenwirkt. Der erste Effekt ist eine wirksame Verzögerung des Stromimpulses im Stromkreis *G*, während gleichzeitig der

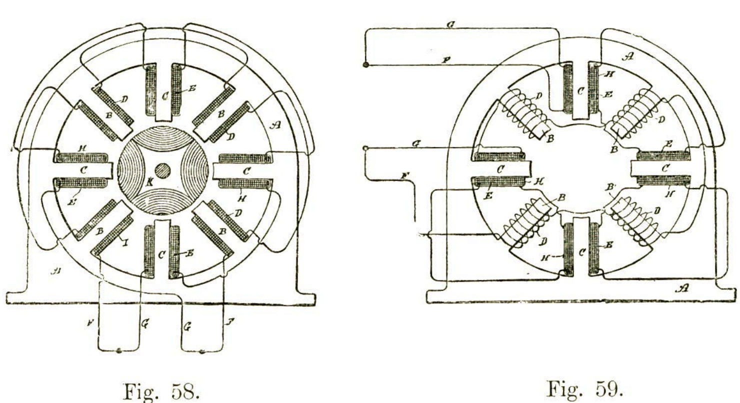


Fig. 58. Fig. 59.

hindurchgehende Theil des Stromes nicht ausreicht, um die Kerne *C*, welche durch die Schirme *H* geschützt sind, zu magnetisiren. Sobald die wachsende elektromotorische Kraft dann mehr Strom durch die Spulen *E* treibt, wird der Eisendraht *H* magnetisch gesättigt und unfähig, alle Kraftlinien aufzunehmen, und hört daher auf, die Kerne *C* zu schützen, die demnach magnetisirt werden und ihre maximale Wirkung in einem auf die gleiche Kraftäusserung in der andern Reihe von Magneten folgenden Zeitintervall entwickeln, dessen Dauer nach Belieben durch geeignete Wahl der Dicke des Schirmes *H* und durch andere bekannte Umstände bestimmt werden kann.

Aus dem Obigen ist ersichtlich, dass die Vorrichtung auf zweierlei Weise wirkt, nämlich einmal duich Verzögerung des Stromes und zweitens durch Verzögerung der Magnetisirung der einen Reihe von Magnetkernen, woraus die Wirksamkeit derselben leicht ermessen werden kann.

Das Princip dieser Erfindung lässt sich in mancherlei Weise modificiren. Eine nützliche und wirksame Anwendung der Erfindung ist in Fig. 59 dargestellt. In dieser Figur ist ein Motor abgebildet, der in allen Beziehungen dem oben beschriebenen ähnlich ist, nur dass der um die Spulen *E* gewickelte Eisendraht in diesem Falle mit den Spulen *D* hinter einander geschaltet ist. Die Eisendrahtspulen *H* sind derart verbunden und gewickelt, dass sie wenig oder gar keine Selbstinduktion haben, und da ihr Widerstand zu demjenigen des Stromkreises *F* hinzutritt, so wird die Wirkung des Stromes in diesem Stromkreise beschleunigt, während dieselbe in dem andern Stromkreise *G* verzögert wird. Die Schutzhülle *H* kann, wie man leicht einsieht, in verschiedenen Formen hergestellt und, wie aus der vorstehenden Beschreibung ersichtlich, in verschiedener Weise benutzt werden.

Als Modifikation seiner Motortype mit magnetisch geschützten Feldern hat Tesla einen Motor konstruirt mit einem Feldmagneten, der zwei Reihen von Polen oder nach innen stehenden Magnetkernen besitzt, die so neben einander angeordnet sind, dass sie praktisch zwei Kraftfelder bilden und die Pole der einen Reihe oder des einen Feldes den Intervallen der andern gegenüber stehen. Er verbindet dann die freien Enden der einen Reihe von Polen mittels Streifen aus Eisenblech oder Brücken von beträchtlich geringerem Querschnitt als die Kerne selbst, wodurch die Kerne sämmtlich Theile geschlossener magnetischer Stromkreise bilden. Wenn nun die Bewickelungen jeder Reihe von Magneten in Vielfachschaltung an eine Wechselstromquelle angeschlossen werden, so entstehen in beiden Stromkreisen gleichzeitig elektromotorische Kräfte; doch besitzen die Bewickelungen der durch die Eisenblechbrücken magnetisch geschlossenen Kerne eben wegen der geschlossenen magnetischen Stromkreise eine hohe Selbstinduktion, welche den Strom verzögert und beim Beginn jedes Stromimpulses nur wenig Strom hindurchgehen lässt. Da andererseits der Strom in der andern Reihe von Spulen keinen solchen Widerstand findet, so geht er ungehindert durch sie hindurch und magnetisirt die Pole, auf welche sie gewickelt sind. Sobald indessen die Eisenblechbrücken gesättigt und unfähig sind, die sämmtlichen Kraftlinien, welche durch die steigende elektromotorische Kraft und den infolgedessen verstärkten Strom erzeugt werden, aufzunehmen, werden freie Pole an den Enden der Kerne hervorgebracht, welche, vereint mit den andern wirkend, eine Drehung des Ankers erzeugen.

Die Konstruktion, durch welche diese Erfindung erläutert wird, ist im Einzelnen aus den folgenden Abbildungen ersichtlich.

Fig. 60 stellt im Aufriss eine Seitenansicht des Motors dar, bei welchem dieses Princip verwirklicht ist. Fig. 61 ist ein vertikaler Querschnitt des Motors. *A* ist das Gestell des Motors, welches aus in der gewünschten Form ausgestanzten und zusammen genieteten Eisenblechen mit isolirenden Zwischenlagen aufgebaut ist. In fertigem Zustande bildet das Gestell einen Feldmagneten mit nach innen ragenden Polstücken *B* und *C*. Entsprechend den Erfordernissen dieses besonderen Falles liegen diese Polstücke nicht auf einer und derselben Kreisperipherie, vielmehr umgeben die mit *B* bezeichneten das eine Ende des Ankers und die mit *C* bezeichneten das andere Ende desselben und sie sind abwechselnd angeordnet, d. h. die Polstücke der einen Reihe stehen in gleicher Linie mit den Intervallen zwischen jenen der andern Reihe.

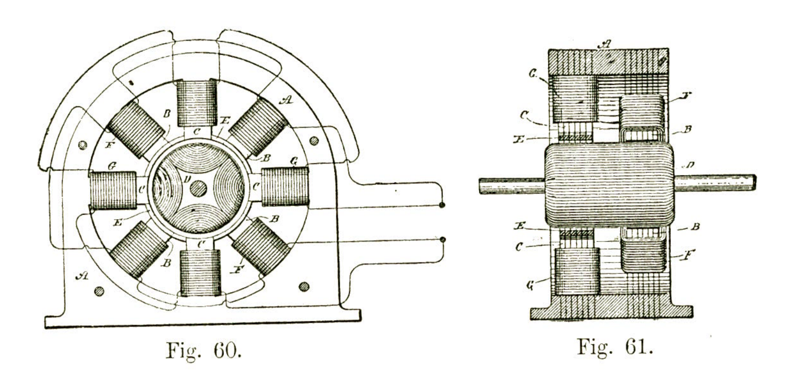


Fig. 60. Fig. 61.

Der Anker *D* ist von cylindrischer Form und in der gewöhnlichen Weise untertheilt und seiner Längsrichtung nach mit in sich selbst geschlossenen Bewickelungen versehen. Die Polstücke *C* sind durch Brücken *E* verbunden. Diese letzteren können entweder für sich hergestellt und dann an den Polstücken befestigt werden, oder sie können auch gleich beim Ausstanzen des Eisenblechs als Theile der Form mit ausgestanzt werden. Ihre Grösse oder Masse hängt von verschiedenen Umständen ab, z. B. von der anzuwendenden Stärke des Stromes, von der Masse oder Grösse der Kerne, an denen sie befestigt werden sollen, und anderen bekannten Verhältnissen.

Die Polstücke *B* sind von Spulen *F* umgeben und andere Spulen *G* sind auf die Polstücke *C* gewickelt. Diese Spulen sind in Serie in zwei Stromkreise eingeschaltet, welche Abzweigungen eines von einem Wechselstromgenerator ausgehenden Stromkreises sind, und sie können derart gewickelt oder die betreffenden sie enthaltenden Stromkreise können derart angeordnet sein, dass der Stromkreis der Spulen *G*, unabhängig

von der speciellen beschriebenen Konstruktion, eine höhere Selbstinduktion besitzt, wie der andere Stromkreis.

Die Funktion der magnetischen Nebenschlüssse oder Brücken *E* besteht darin, dass sie für einen Strom bis zu einer im Voraus gegebenen Stärke mit den Kernen *C* einen geschlossenen magnetischen Stromkreis bilden, derart dass sie, wenn sie durch jenen Strom gesättigt und unfähig sind, mehr Kraftlinien aufzunehmen, als ein solcher Strom hervorbringt, in keiner merklichen Weise mehr die Entwickelung freier magnetischer Pole an den Enden der Kerne *C* durch einen stärkeren Strom beeinträchtigen.

Bei einem derartigen Motor wird der Strom in den Spulen *G* so verzögert und die Aeusserung des freien Magnetismus in den Polen *C* so über den Zeitpunkt maximaler magnetischer Wirkung in den Polen *B* hinaus verschoben, dass ein starkes Drehmoment entsteht und der Motor mit annähernd der gleichen Kraft arbeitet, wie ein Motor dieser Art, welcher durch unabhängig erzeugte Ströme mit einem Phasenunterschied von einer vollen Viertelperiode erregt wird.

---

14. Kapitel.

Type des Tesla'schen Einphasenmotors.

Bisher sind zwei Haupttypen der Tesla-Motoren beschrieben worden. Die erste enthält zwei oder mehrere Erregerstromkreise, durch welche Wechselströme gesandt werden, die sich hinreichend in der Phase von einander unterscheiden, um ein beständiges Fortschreiten oder Verschieben der Pole oder Punkte grösster magnetischer Wirkung zu erzeugen, infolge dessen das bewegliche Element des Motors in Rotation erhalten wird; die zweite Motorform enthält Pole oder Theile von verschiedener magnetischer Susceptibilität, welche unter dem magnetisirenden Einfluss eines und desselben Stromes oder zweier in der Phase übereinstimmenden Ströme Unterschiede in ihren magnetischen Perioden oder Phasen aufweisen. Bei der ersten Klasse von Motoren rührt das Drehmoment von dem Magnetismus her, welcher in verschiedenen Theilen des Motors durch verschiedene Phasen besitzende Ströme einer und derselben oder von einander unabhängiger Stromquellen erzeugt wird. Bei der zweiten Klasse resultirt das Drehmoment aus den magnetisirenden Wirkungen eines Stromes auf verschiedene Theile des Motors, welche sich in der magnetischen Susceptibilität unterscheiden, mit andern Worten Theile,

welche auf die Wirkung eines Stromes nicht gleichzeitig, sondern nach verschiedenen Zeitintervallen, aber mit der gleichen relativen Stärke reagiren.

Bei einem anderen Tesla-Motor jedoch wird das Drehmoment, anstatt bloss das Resultat einer aus irgend einer Ursache herrührenden Zeitdifferenz in den magnetischen Perioden oder Phasen der Pole oder attraktiven Theile zu sein, durch eine Winkelverschiebung der Theile erzeugt, welche, obwohl relativ zu einander beweglich, durch die nämlichen Ströme gleichzeitig oder doch nahezu gleichzeitig magnetisirt werden. Das Princip dieser Wirkungsweise ist praktisch bei einem Motor zur Ausführung gekommen, bei welchem die nothwendige Winkelverschiebung zwischen den Punkten grösster magnetischer Anziehung in beiden Elementen — Anker und Feld — des Motors durch die Stellung der Bleche der Magnetkerne der Elemente erhalten wird.

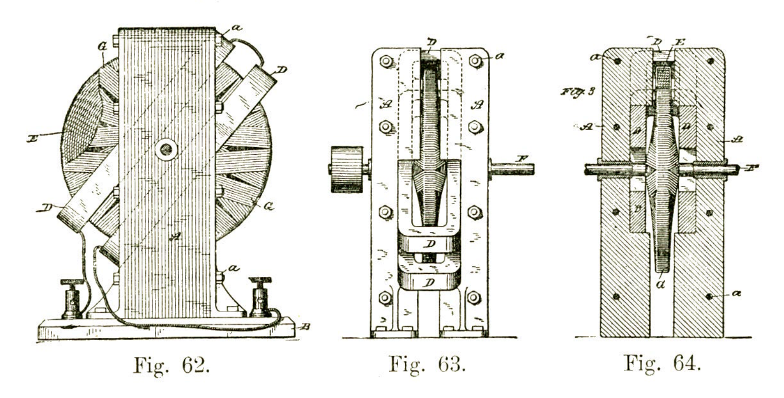


Fig. 62. Fig. 63. Fig. 64.

Fig. 62 stellt eine Seitenansicht eines solchen Motors dar, aus der zugleich ein Theil seines Ankerkernes ersichtlich ist. Fig. 63 ist eine Endansicht desselben. Fig. 64 zeigt einen mittleren Querschnitt desselben, wobei der Anker der Hauptsache nach im Aufriss dargestellt ist.

AA bezeichnen zwei Platten, die aus dünnen Weicheisenblechen aufgebaut sind, die von einander mehr oder weniger isolirt, durch Bolzen *a* zusammen gehalten und an einer Grundplatte *B* befestigt sind. Die inneren Flächen dieser Platten enthalten Aussparungen oder Nuthen, in welche eine Spule oder Spulen *D* schräg zur Richtung der Bleche eingelegt sind. Innerhalb der Spulen *D* befindet sich eine Scheibe *E*, die am besten aus einem spiralig gewickelten Eisendraht oder Eisenband oder einer Reihe von concentrischen Ringen besteht und auf einer Welle *F* montirt ist, deren Lager sich in den Platten *AA* befinden. Eine solche Vorrichtung kann, wenn ein Wechselstrom darauf wirkt, sich drehen

und bildet einen Motor, dessen Wirkungsweise folgendermassen erklärt werden kann: Ein die Spulen *D* durchfliessender Strom oder Stromimpuls sucht die Kerne *AA* und *E*, die sich sämmtlich in dem Wirkungsbereich des Feldes der Spulen befinden, zu magnetisiren. Die auf diese Weise erzeugten Pole würden natürlich in derselben Linie senkrecht zu den Spulen *D* liegen, in den Platten *A* aber werden dieselben infolge der Richtung der Bleche abgelenkt und treten an oder nahe an den Enden dieser Platten auf. In der Scheibe jedoch, wo ähnliche Verhältnisse nicht vorliegen, liegen die Pole oder Punkte grösster Attraktion auf einer Linie senkrecht zur Ebene der Spulen; demnach wird durch diese Winkelverschiebung der Pole oder magnetischen Linien ein Drehmoment hervorgebracht, welches die Scheibe in Drehung versetzt, indem sich die magnetischen Linien des Ankers und Feldes parallel zu stellen suchen. Diese Drehung wird durch die Umkehrungen des Stromes in den Spulen *DD*, welche abwechselnd die Polarität der Feldkerne *AA* ändern, fortgesetzt und unterhalten. Dieses Bestreben, sich zu drehen, wird erheblich verstärkt, wenn man die Scheibe mit Leitern *G* umwickelt, die in sich selbst geschlossen sind und eine radiale Richtung haben, wodurch die magnetische Intensität der Pole der Scheibe infolge der magnetisirenden Wirkung der Ströme, welche in den Spulen *G* durch die in den Spulen *D* fliessenden Wechselströme inducirt werden, bedeutend vergrössert wird.

Die Kerne der Scheibe und des Feldes können von verschiedener magnetischer Susceptibilität sein oder nicht, d. h. sie können entweder beide aus der gleichen Eisensorte bestehen, so dass sie annähernd in dem gleichen Augenblicke von den Spulen *D* magnetisirt werden, oder sie können der eine aus weichem, der andere aus hartem Eisen bestehen, damit zwischen den Perioden ihrer Magnetisirung eine gewisse Zeit verfliesst. In jedem Falle wird eine Rotation erzeugt; wofern aber die Scheibe nicht mit den geschlossenen Erregungsspulen versehen ist, thut man gut, die erwähnte Verschiedenheit in der magnetischen Aufnahmefähigkeit zur Unterstützung der Rotation zu benutzen.

Die Kerne des Feldes und des Ankers können natürlich auf verschiedene Weise hergestellt werden, da es nur erforderlich ist, dass die Stellung der Bleche in jedem eine solche ist, dass dadurch die nothwendige Winkelverschiebung der Punkte grösster Attraktion hervorgebracht wird. Ferner ist ersichtlich, da die Scheibe als aus einer unendlichen Anzahl radialer Arme bestehend angesehen werden kann, dass das, was für eine Scheibe gilt, auch für viele andere Formen des Ankers richtig bleibt.

---

15. Kapitel.

Motoren mit Stromkreisen von verschiedenem Widerstande.

Wie an anderer Stelle angegeben ist, ist das Zurückbleiben oder die Verzögerung der Phasen eines Wechselstromes direkt proportional der Selbstinduktion und umgekehrt proportional dem Widerstande des Stromkreises, durch welchen der Strom fliesst. Um daher die passenden Phasendifferenzen zwischen den beiden Motorstromkreisen zu erhalten, ist es zweckmässig, die Selbstinduktion in dem einen Stromkreise viel höher und den Widerstand viel geringer zu machen als bezüglich die Selbstinduktion und den Widerstand in dem andern Stromkreise. Zu gleicher Zeit sollten die Magnetismen der beiden Pole oder Polsysteme, die von den beiden Stromkreisen hervorgebracht werden, annähernd gleich sein. Diese Anforderungen haben Tesla zur Erfindung eines Motors geführt, der die folgenden allgemeinen Eigenthümlichkeiten besitzt. Die Spulen, welche in denjenigen Erregungsstromkreis eingeschaltet sind, der die höhere Selbstinduktion besitzen soll, sind aus dickem Draht oder einem Leiter von relativ geringem Widerstande und aus möglichst vielen Windungen hergestellt. In der andern Reihe von Spulen sind verhältnissmässig wenige Windungen eines dünneren Drahtes oder eines Drahtes von höherem Widerstande verwendet. Ferner wendet Tesla, um die Magnetismen der durch diese Spulen erzeugten Pole möglichst gleich zu machen, in dem Stromkreise mit Selbstinduktion viel längere Magnetkerne an als in dem andern Stromkreise mit hohem Widerstande.

Fig. 65 zeigt einen theilweisen Schnitt des Motors rechtwinklig zur Welle. Fig. 66 zeigt die Schaltungsweise der Feldstromkreise.

In Fig. 66 stelle A die Spulen in dem einen Motorstromkreis und B diejenigen in dem andern dar. Der Stromkreis A möge die höhere Selbstinduktion besitzen. Zur Herstellung der Spulen dieses Stromkreises ist daher eine grössere Länge oder eine grosse Anzahl von Windungen eines dicken Drahtes benutzt. Für den Stromkreis B ist ein dünnerer Leiter verwendet oder ein Leiter von höherem Widerstande als Kupfer, z. B. Neusilber oder Eisen, und die Spulen sind mit weniger Windungen gewickelt. Um diese Spulen an einem Motor anzubringen, baut Tesla einen Feldmagnet C aus Eisen- und Stahlplatten auf, die in der üblichen Weise durch Nieten D zusammen gehalten werden. Jede Platte ist mit vier (mehr oder weniger) langen Kernen E, um die herum sich ein

Raum zur Aufnahme der Wickelung befindet, und mit einer gleichen Anzahl kurzer Vorsprünge F zur Aufnahme der Spulen des Widerstandsstromkreises versehen. Die Platten haben eine im Allgemeinen ringförmige Gestalt mit einer Oeffnung in der Mitte zur Aufnahme des Ankers G, der nach Tesla am besten mit geschlossenen Spulen bewickelt wird. Ein sich in die beiden Stromkreise theilender Wechselstrom wird in dem Stromkreise A in seiner Phase viel mehr verzögert wie in dem Stromkreise B. Infolge der relativen Grösse und der Dis-

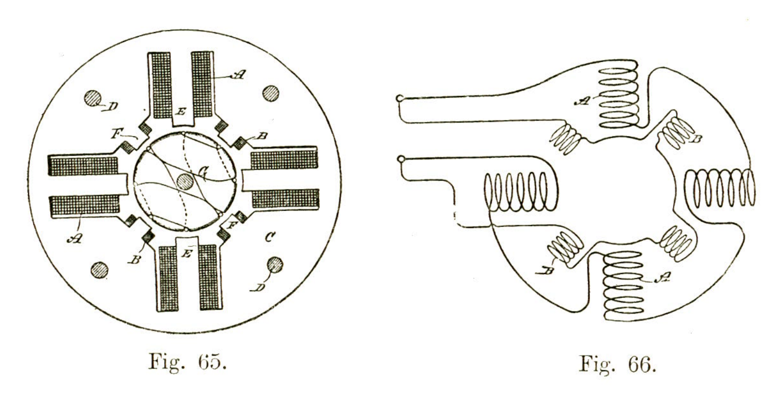


Fig. 65. Fig. 66.

position der Kerne und Spulen ist die magnetische Wirkung der Pole E und F auf den Anker annähernd dieselbe.

Ein wichtiges durch die hier beschriebene Konstruktion erzieltes Resultat ist, dass diejenigen Spulen, welche die höhere Selbstinduktion besitzen sollen, beinahe vollständig von Eisen umgeben sind, wodurch die Verzögerung in der Phase wesentlich vergrössert wird.

---

16. Kapitel.

Motor mit gleicher magnetischer Energie im Felde und Anker.

Angenommen, die durch den Magnetismus im Felde eines gegebenen Drehfeldmotors dargestellte Energie sei gleich 90 und diejenige des Ankers gleich 10. Die Summe dieser Grössen, welche die zum Betriebe des Motors aufgewendete Gesammtenergie darstellt, ist 100. Nimmt man aber an, dass der Motor so konstruirt sei, dass die Energie in dem Felde durch 50 und diejenige im Anker ebenfalls durch 50 dargestellt wird, so ist die Summe gleichfalls 100; während jedoch im ersten

Falle das Produkt beider 900 ist, ist dasselbe im zweiten Falle 2500, und da die entwickelte Energie diesen Produkten proportional ist, so ist ersichtlich, dass unter sonst gleichen Umständen diejenigen Motoren die leistungsfähigsten sind, in welchen die im Anker und Felde entwickelten Energieen gleich sind. Dieses Resultat erreicht Tesla durch Verwendung gleicher Kupfermassen oder Ampèrewindungen in beiden Elementen, wenn die Magnetkerne beider gleich oder nahezu gleich sind und derselbe Strom beide magnetisirt; in andern Fällen, wo die Ströme in dem einen Elemente von denen des andern inducirt sind, verwendet er in den inducirten Spulen einen Ueberschuss an Kupfer gegenüber der im primären Element oder Leiter verwendeten Kupfermenge.

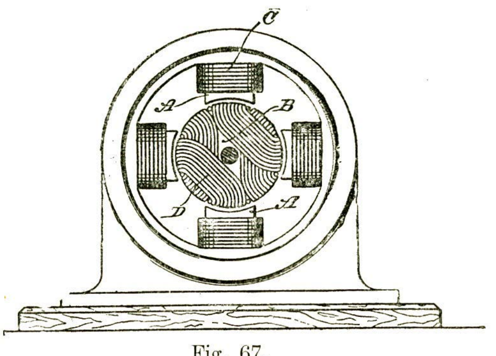


Fig. 67.

Die Darstellung eines Motors von der gedachten Art in Fig. 67 giebt eine Vorstellung von der von Tesla für das besondere Problem gelieferten Lösung. In der Fig. 67 bedeutet *A* den Feldmagnet, *B* den Anker, *C* die Feldspulen und *D* die Ankerspulen des Motors.

Im Allgemeinen gesprochen, sollte, wenn die Masse der Kerne von Anker und Feld gleich ist, auch der Kupferbetrag oder die Zahl der Ampèrewindungen der magnetisirenden Spulen auf beiden gleich sein; indessen werden diese Verhältnisse bei verschiedenen Formen der Maschine etwas modificirt. Ersichtlich sind diese Resultate am vortheilhaftesten, wenn dieselben unter solchen Verhältnissen gelten, wo der Motor unter normaler Belastung läuft, ein Punkt, der wohl zu beachten ist.

---

17. Kapitel.

Motoren, bei denen die Maxima der magnetischen Wirkung im Anker und Feld zusammenfallen.

Bei dieser Motorform war es Tesla's Ziel, Maschinen zu entwerfen und zu bauen, bei denen die Maxima der magnetischen Wirkungen des Ankers und Feldes näher zusammenfallen, als es bei einigen der vorher betrachteten Typen der Fall war. Diese Typen sind 1) Motoren mit

zwei oder mehreren Erregerstromkreisen von gleicher elektrischer Beschaffenheit, bei denen die zu ihrer Bethätigung benutzten Ströme primär in der Phase verschieden sind; 2) Motoren mit mehreren Erregerstromkreisen von verschiedener elektrischer Beschaffenheit, in denen oder mittels deren der Phasenunterschied künstlich erzeugt wird, und 3) Motoren mit mehreren Erregerstromkreisen, bei denen die Ströme in dem einen Stromkreise durch die Ströme in einem andern inducirt werden. Betrachtet man die Konstruktions- und Wirkungsverhältnisse irgend eines von ihnen, z. B. des unter 1) genannten, näher, so besitzt der Anker, welcher derart montirt ist, dass er dem Zusammenwirken der Erregerstromkreise entsprechend rotiren kann, Bewickelungen, welche in sich selbst geschlossen sind und in denen durch die Erregungsströme Ströme inducirt werden, die eine Magnetisirung des Ankerkernes bezwecken und zur Folge haben. Unter den bei diesen Motoren herrschenden Verhältnissen muss aber offenbar eine gewisse Zeit vergehen zwischen den Aeusserungen eines Impulses des Erregungsstromes in den Feldspulen und dem entsprechenden magnetischen Zustande im Anker, der durch den dadurch inducirten Strom hervorgerufen wird. Infolge dessen wird ein gegebener magnetischer Einfluss oder Effekt im Felde, welcher das direkte Resultat eines primären Stromimpulses ist, mehr oder weniger geschwächt werden oder ganz verloren gehen, bevor der entsprechende indirekt erzeugte Effekt im Anker sein Maximum erreicht hat. Dies ist in gewissen Fällen — z. B. wenn die Verschiebung der resultirenden Pole oder Punkte grösster Attraktion sehr gross ist oder wenn eine sehr hohe Anzahl von Wechseln angewendet wird — ein für einen wirkungsvollen Betrieb ungünstiges Verhältniss, denn es ist klar, dass eine stärkere Tendenz zur Rotation erhalten wird, wenn die maximalen magnetischen Anziehungen im Anker und Feld zusammenfallen, da die durch einen Motor entwickelte Energie durch das Produkt der Magnetismen von Anker und Feld gemessen wird.

Um dieses Zusammenfallen der maximalen magnetischen Wirkungen zu erreichen, hat Tesla, wie unten dargelegt werden wird, verschiedene Methoden angegeben. Fig. 68 ist eine schematische Darstellung eines Tesla-Motors, bei welchem die Wechselströme von unabhängigen Stromquellen ausgehen und primär in der Phase verschieden sind.

A bezeichnet den Feldmagneten oder das Magnetgestell des Motors, *BB* einander gegenüber gestellte Polschuhe, welche zur Aufnahme der Spulen des einen Erregerstromkreises bestimmt sind, und *CC* analoge Polschuhe für die Spulen des andern Erregerstromkreises. Diese Stromkreise sind bezüglich mit *DE* bezeichnet, während der Leiter *D''* eine

gemeinsame Rückleitung zum Generator *G* bildet. Zwischen diesen Polen ist ein Anker, z. B. ein Ringanker, montirt, der mit einer Reihe einen oder mehrere geschlossene Stromkreise bildender Spulen *F* bewickelt ist. Die Wirkung oder Betriebsweise eines Motors dieser Konstruktion ist nun leicht ersichtlich. Man wird jedoch bemerken, dass der Magnetismus der Pole *B* z. B., welcher durch einen Stromimpuls in den auf ihnen befindlichen Spulen hervorgerufen wird, der in dem Anker durch den in den Spulen *F* inducirten Strom erzeugten magnetischen Wirkung vorauseilt. Infolgedessen ist die gegenseitige Attraktion zwischen dem Anker und den Feldpolen erheblich reducirt. Dieselben Verhältnisse finden statt, wenn wir, anstatt anzunehmen, dass die Pole *B* oder *C* unabhängig wirken, uns denken, dass die idealen Resultanten beider zusammen wirken, was der Wirklichkeit entspricht. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, ist das Feld des Motors mit sekundären Polen *B' C'* versehen, welche zwischen den andern gelegen sind. Diese Polstücke sind mit Spulen *D' E'* bewickelt, erstere in Parallelschaltung zu den Spulen *D*, letztere in Parallelschaltung zu den Spulen *E*. Die Haupt- oder Primärspulen *D* und *E* sind für eine von derjenigen der Spulen *D'* und *E'* verschiedene Selbstinduktion gewickelt, und zwar sind die Verhältnisse derart fixirt, dass, wenn die Ströme in *D* und *E* sich z. B. um eine Viertelphase unterscheiden, die Ströme in jeder sekundären Spule wie *D' E'* von denen in den zugehörigen primären Spulen *D* oder *E* um z. B. 45° oder um eine Achtelperiode verschieden sind.

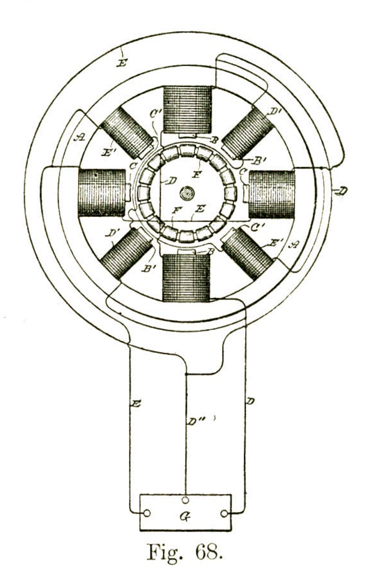


Fig. 68.

Nimmt man nun an, dass in dem Stromkreise *E* ein Stromimpuls oder Stromwechsel gerade beginnt, während er in dem Zweige *D* eben von seinem Maximum abfällt, so findet ein Phasenunterschied von einer Viertelperiode statt. Die ideale Resultante der Anziehungskräfte der beiden Reihen von Polen *BC* kann man sich daher als von den Polen *B* zu den Polen *C* hin fortschreitend denken, während der Stromimpuls in *E* zu seinem Maximum ansteigt und derjenige in *D* zu Null oder seinem Minimum abfällt. Die im Anker erzeugte Polarität bleibt jedoch hinter den Aeusserungen des Feldmagnetismus zurück und deshalb werden die Punkte grösster Anziehung im Anker und Feld, anstatt zusammen zu

fallen, gegen einander verschoben. Diese Wirkung wird durch die Hülfspole $B' C'$ aufgehoben. Die magnetischen Phasen dieser Pole folgen denen der Pole $B C$ um dieselbe oder nahezu dieselbe Zeitdauer nach, wie zwischen der Wirkung der Pole $B C$ und der entsprechenden inducirten Wirkung im Anker vergeht; demnach werden die magnetischen Zustände der Pole $B' C'$ und des Ankers näher zusammenfallen und es wird ein besseres Resultat erreicht werden. Ebenso wie die Pole $B' C'$ mit den im Anker durch die Pole $B C$ erzeugten Polen zusammenwirken, so wirken auch umgekehrt die Pole $B C$ in ähnlicher Weise mit den durch $B' C'$ respektive erzeugten Polen zusammen. Unter solchen Umständen werden durch die Verzögerung der magnetischen Wirkung des Ankers und derjenigen der sekundären Pole die Maxima der beiden näher zum Zusammenfallen gebracht und es wird eine entsprechend grössere Drehkraft oder magnetische Attraktion erzielt.

Bei einer solchen Anordnung, wie sie in Fig. 68 dargestellt ist, haben die benachbarten Polstücke jedes der beiden Stromkreise, da sie von gleicher Polarität sind, eine gewisse schwächende Wirkung auf einander. Tesla zieht es daher vor, die sekundären Pole dem direkten Einflusse der andern zu entziehen. Dies kann geschehen, indem man einen Motor mit zwei unabhängigen Systemen von Feldmagneten und mit entweder einem oder zwei elektrisch verbundenen Ankern herstellt, oder indem man zwei Anker und ein einziges Feld verwendet. Diese Modifikationen sind im Folgenden erläutert.

Fig. 69 zeigt das Schema eines Motors und seiner Verbindungen, bei welchem die Phasendifferenz künstlich hervorgebracht wird. In dem einen Zweige des vom Generator G ausgehenden Hauptstromkreises befinden sich zwei Spulen $D D$, in einem andern Zweige zwei Spulen $E E$. Diese beiden Zweigstromkreise sind von verschiedener Selbstinduktion und zwar sei z. B. die von D die höhere. Dies ist graphisch dadurch angedeutet, dass die Spulen D viel breiter als die Spulen E gezeichnet sind. Infolge der Verschiedenheit in der elektrischen Beschaffenheit der beiden Stromkreise werden die Phasen des Stromes in dem einen in stärkerem Maasse verzögert wie in dem andern. Diese Phasendifferenz möge 30^0 betragen. Ein derartig konstruirter Motor wird unter der Wirkung eines Wechselstromes rotiren; aber wie bei dem vorher beschriebenen Falle fallen die entsprechenden magnetischen Wirkungen des Ankers und des Feldes nicht zusammen, weil zwischen einer gegebenen magnetischen Wirkung im Anker und dem Zustande des sie erzeugenden Feldes eine gewisse Zeit verstreicht. Daher sind die sekundären oder Hülfspole $B' C'$ angebracht. Da zwischen den Strömen in den Spulen $D E$

eine Phasendifferenz von 30° besteht, so müsste die magnetische Wirkung der Pole *B' C'* derjenigen gleich sein, welche durch einen Strom hervorgebracht wird, der sich von dem Strome in den Spulen *D* oder *E* in der Phase um 15° unterscheidet. Man kann dies dadurch erreichen, dass man jeden Hülfspol *B' C'* mit zwei Bewickelungen *H H'* versieht. Die Spulen *H* werden in einen Nebenschluss von derselben Selbstinduktion wie Stromkreis *D* und die Spulen *H'* in einen Stromkreis mit derselben Selbstinduktion wie Stromkreis *E* eingeschaltet, so dass, wenn diese Stromkreise in der Phase um 30° verschieden sind, der Magnetismus der Pole *B' C'* demjenigen entsprechen wird, welcher durch einen Strom erzeugt wird, der sich von demjenigen in einer der Spulen *D* oder *E* um 15° unterscheidet. Dies gilt in allen andern Fällen. Wenn z. B. in der Fig. 68 die Spulen *D' E'* durch die in die Nebenschlüsse gelegten Spulen *H H'* ersetzt werden, so wird der Magnetismus der Pole *B' C'* in der Wirkung oder Phase, wenn man es so nennen kann, demjenigen entsprechen, welcher durch einen Strom erzeugt wird, der sich von demjenigen in einem der beiden Stromkreise *D* oder *E* um 45° oder um eine Achtelperiode unterscheidet.

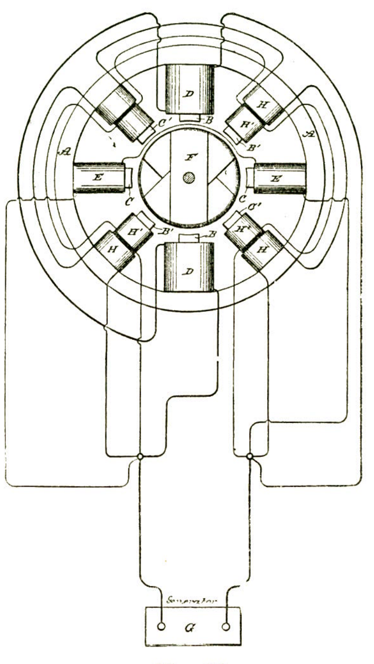


Fig. 69.

Die Fig. 70 und 71 veranschaulichen diese Erfindung in ihrer Anwendung auf einen Nebenschlussmotor. Die erstere ist eine Endansicht des Motors mit dem Anker im Schnitt und einem Diagramm der Schaltungen und Fig. 71 ist ein Vertikalschnitt durch das Feld. Diese Figuren sollen zugleich eine der Anordnungen zweier Felder veranschaulichen, die man bei der Ausführung des Princips anwenden kann. Die Pole *B B C C* befinden sich in dem einen Felde, die übrigen Pole in dem andern. Die ersteren sind mit primären Spulen *I J* und sekundären Spulen *I' J'*, die letzteren mit Spulen *K L* bewickelt. Die primären Spulen *I J* liegen in parallelen Stromkreisen, zwischen denen infolge ihrer verschiedenen Selbstinduktion eine Phasendifferenz von z. B. 30° besteht. Die Spulen *I' K* sind hinter einander geschaltet, ebenso die Spulen *J' L*

und es sollten zwischen den Strömen in den Spulen K und L und den ihnen entsprechenden primären Strömen Phasendifferenzen von etwa 15^0 bestehen. Wenn die Pole $B\,C$ rechtwinklig zu einander liegen, sollten die Ankerspulen direkt querüber verbunden werden oder es kann ein

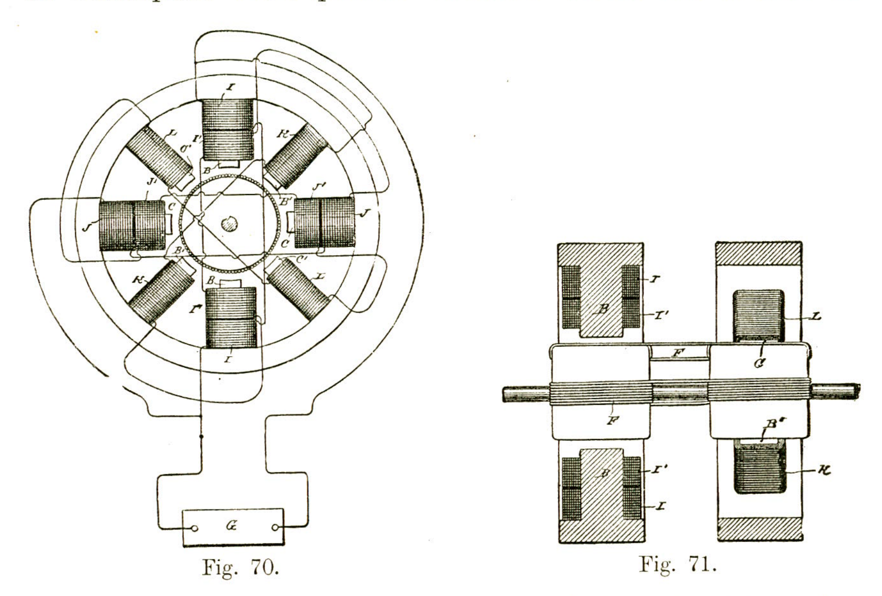


Fig. 70. Fig. 71.

einziger von Ende zu Ende bewickelter Ankerkern benutzt werden; wenn aber die Pole $B\,C$ in einer Linie liegen, sollten, wie leicht erklärlich, die Ankerspulen einen Winkel mit einander bilden.

Die Wirkungsweise des Motors ist aus dem Vorstehenden leicht ersichtlich. Der Zustand grösster Magnetisirung eines Polpaares wie $B'\,B'$ fällt nahezu mit der maximalen Wirkung im Anker zusammen, welche hinter dem entsprechenden Zustande in den Polen $B\,B$ zurückbleibt.

---

18. Kapitel.

Motor, welcher auf der Phasendifferenz in der Magnetisirung der inneren und äusseren Theile eines Eisenkerns beruht.

Es ist bekannt, dass, wenn ein Eisenkern, auch wenn derselbe untertheilt ist, mit einer isolirten Bewickelung versehen und ein elektrischer Strom durch die Bewickelung geschickt wird, nicht sofort der ganze Kern magnetisirt wird, da die magnetisirende Wirkung nicht gleichzeitig in allen Theilen auftritt. Dies kann dem Umstande zuge-

schrieben werden, dass der Strom in der Magnetisirungsspule zunächst diejenigen Schichten oder Theile des Kernes, welche dicht an der Oberfläche und der Erregungsspule am nächsten liegen, magnetisirt und dass von hier aus die Wirkung nach innen fortschreitet. Zwischen der Aeusserung des Magnetismus in den äusseren und inneren Theilen oder Schichten des Kernes verstreicht daher eine gewisse Zeit. Ist der Kern dünn oder von geringer Masse, so kann diese Zeitdifferenz unmerklich sein. Bei einem dicken Kerne dagegen oder selbst bei einem verhältnissmässig dünnen Kerne, falls die Zahl der Wechsel oder die Geschwindigkeit der Aenderung der Stromstärke sehr gross ist, ist das Zeitintervall zwischen den Aeusserungen des Magnetismus im Innern des Kernes und in den der Spule benachbarten Theilen merklicher. Bei dem Bau solcher Apparate wie Motoren, welche durch Wechselströme oder äquivalente, z. B. pulsirende oder allgemein undulirende, Ströme betrieben werden sollen, fand es Tesla wünschenswerth, ja sogar nothwendig, dass dieser Erscheinung gebührende Beachtung geschenkt und besondere Vorkehrungen getroffen würden, um die Folgen derselben zu vermeiden. In der besonderen Absicht, aus dieser Wirkung Vortheil zu ziehen und dieselbe noch markanter zu machen, konstruirt er einen Feldmagneten, in welchem die Theile des Kernes oder der Kerne, welche die ihnen, von in einer Erregungsspule fliessenden Wechsel- oder äquivalenten Strömen mitgetheilte magnetische Wirkung in verschiedenen Zeitintervallen äussern, in Bezug auf einen rotirenden Anker so gesetzt sind, dass sie ihre anziehende Wirkung auf denselben nach einander in der Reihenfolge ihrer Magnetisirung ausüben. Auf diese Weise erzielt er ein ähnliches Resultat wie das, welches er früher bei andern Formen oder Typen von Motoren erhalten hatte, bei denen er mittels eines oder mehrerer Wechselströme die Rotation oder die Verschiebung der magnetischen Pole hervorgebracht hatte.

Diese neue Art des Betriebes eines Motors soll nunmehr beschrieben werden. Fig. 72 stellt einen Seitenaufriss eines solchen Motors dar. Fig. 73 ist ein Seitenaufriss einer praktischeren und wirksameren Ausführung der Erfindung und Fig. 74 stellt einen vertikalen Schnitt desselben in der Ebene der Rotationsachse dar.

In Fig. 72 bedeute X einen grossen Eisenkern, der aus einer Anzahl von Blechen oder Lamellen aus weichem Eisen oder Stahl zusammengesetzt sein möge. Diesen Kern umgiebt eine Spule Y, welche mit einer Quelle E rasch variirender Ströme verbunden ist. Wir wollen nun die magnetischen Verhältnisse betrachten, die in diesem Kerne an irgend einer Stelle b im oder nahe am Mittelpunkte und an irgend einer andern

Stelle a näher an der Oberfläche stattfinden. Wird ein Stromimpuls in die magnetisirende Spule Y gesandt, so wird der Theil bei a, da er dicht an der Spule liegt, sofort magnetisirt, während der Theil bei b, welcher, um einen bequemen Ausdruck zu gebrauchen, durch die zwischen a und b liegenden Querschnitte oder Schichten „geschützt" ist, nicht sofort Magnetismus zeigen wird. Sobald indessen die Magnetisirung von a

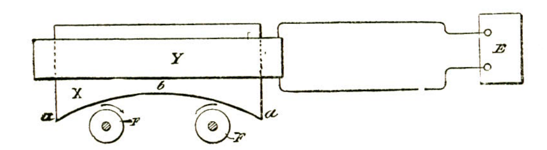


Fig. 72.

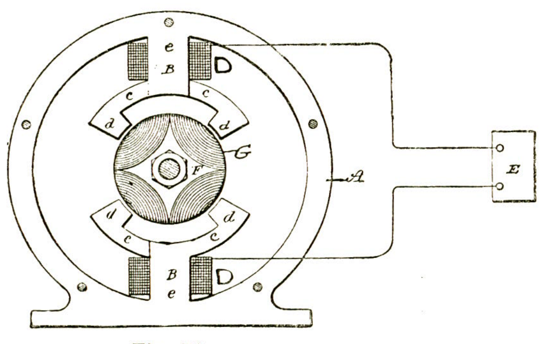


Fig. 73.

wächst, wird b ebenfalls beeinflusst und erreicht schliesslich seine grösste Stärke einige Zeit später wie a. Während des Abfallens des Stromes nimmt die Magnetisirung von a zunächst ab, während b noch die maximale Stärke derselben besitzt, aber die andauernde Abschwächung von a hat auch eine Abschwächung von b zur Folge. Nimmt man an, dass der Strom ein Wechselstrom sei, so wird a nun die umgekehrte Polarität annehmen, während b noch die zuerst ihm mitgetheilte Polarität behält. Diese Wirkung verlängert den magnetischen Zustand von b, der in der oben beschriebenen Weise dem von a folgt. Wird ein Anker, z. B. eine einfache Scheibe F, die frei um eine Achse rotiren kann, in die Nähe des Kernes gebracht, so wird der Scheibe eine Drehbewegung mitgetheilt werden, deren Richtung von der Lage der Scheibe bezüglich des Kernes abhängt, und zwar geht die Tendenz dahin, den dem Kerne am nächsten gelegenen Theil der Scheibe von a nach b zu drehen, wie in Fig. 72 angedeutet ist.

Das Princip dieser Wirkungsweise ist in einer praktischen Form eines Motors zur Ausführung gekommen, welcher in Fig. 73 dargestellt ist. In dieser Figur bezeichne *A* ein kreisförmiges Gestell aus Eisen, bei welchem von diametral gegenüber liegenden Punkten der Innenseite die Kerne hervorstehen. Jeder Kern besteht aus drei Hauptheilen *B*, *B* und *C*; dieselben werden gebildet von einem geraden Theile *e*, um welchen die Magnetisirungsspule gewickelt ist, einem gekrümmten Arme *c* und einem nach innen vorspringenden Polstück *d*. Jeder Kern ist aus zwei Theilen *BB*, deren Polansätze nach einer und derselben Richtung gehen, und einem Theile *C* zwischen den beiden andern zusammengesetzt, dessen Polansatz sich nach der entgegengesetzten Richtung erstreckt. Um in den Kernen die Cirkulation der in ihnen inducirten Ströme zu vermindern, sind die verschiedenen Theile derselben von einander in der bei solchen Fällen üblichen Weise isolirt. Diese Kerne sind mit Spulen *D* bewickelt, welche entweder in Parallel- oder in Hintereinanderschaltung in den nämlichen Stromkreis eingeschaltet sind und von einem in der Figur schematisch dargestellten Generator *E* mit einem Wechselstrom oder, weniger gut, mit einem pulsirenden Strom gespeist werden. Zwischen den Kernen oder deren Polansätzen ist ein cylindrischer oder dergleichen Anker *F* montirt, der mit in sich selbst geschlossenen Magnetisirungsspulen *G* bewickelt ist.

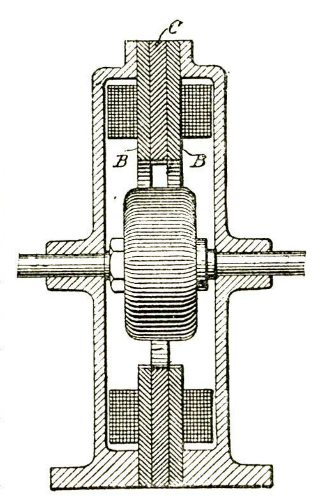


Fig. 74.

Dieser Motor funktionirt in folgender Weise. Wenn ein Stromimpuls durch die Spulen *D* gesandt wird, so werden die an der Oberfläche und dicht an den Spulen liegenden Schichten *B*, *B* der Kerne sofort magnetisirt. Die Schichten *C* dagegen sind vor dem magnetisirenden Einfluss der Spule durch die zwischenliegenden Eisenschichten *BB* geschützt. Sobald jedoch der Magnetismus von *BB* zunimmt, werden auch die Schichten *C* magnetisirt; sie erreichen ihre maximale Stärke aber erst um eine gewisse Zeit später, als die Schichten *BB* ihren grössten Magnetismus besassen. Nach dem Abfallen des Stromes nimmt die Stärke des Magnetismus in den Schichten *BB* zunächst ab, während die Schichten *C* noch ihre maximale Stärke besitzen; sobald aber der Magnetismus in *BB* noch weiter abnimmt, nimmt auch die Stärke desselben in den inneren Schichten ab. Die Schichten *BB* können dann

die entgegengesetzte Polarität annehmen, worauf dann später eine analoge Veränderung in *C* folgt und so weiter fort. Es können daher *B B* und *C* als zwei getrennte Feldmagnete betrachtet werden, die derart erweitert sind, dass sie auf den Anker in der günstigsten Stellung einwirken, und der Effekt ist der gleiche wie bei andern Formen des Tesla-Motors, nämlich eine Drehung oder Verschiebung der Punkte grösster Intensität des Kraftfeldes. Jeder Anker, z. B. eine Scheibe, der in diesem Felde angebracht ist, dreht sich in der Richtung von demjenigen Pole, welcher zuerst magnetisirt wird, zu demjenigen, der später Magnetismus aufweist.

Offenbar kann das hier beschriebene Princip auch in Verbindung mit anderen Mitteln, durch welche eine günstigere Wirkung des Motors erzielt wird, angewandt werden. Z. B. können die Polansätze der Theile *C* mit geschlossenen Spulen bewickelt werden. Infolge der Wirkung dieser Spulen wird die Magnetisirung der Polansätze von *C* in noch wirksamerer Weise verzögert.

---

19. Kapitel.

Eine andere Type des Tesla'schen Induktionsmotors.

Allen denen, welche an dem Fortschritt der Elektrotechnik Interesse nehmen und die Arbeiten der Pioniere derselben sorgfältig Schritt für Schritt verfolgen, wird es nicht entgangen sein, dass Tesla einer der ersten war, welcher induktive Wirkungen in dauernd geschlossenen Stromkreisen zum Betriebe von Wechselstrommotoren benutzte. In diesem Kapitel wird eine einfache Type eines solchen Motors beschrieben und abgebildet, die zur Erläuterung des Principes dienen wird.

Es möge angenommen werden, dass ein gewöhnlicher Wechselstromgenerator mit einem Stromkreise verbunden sei, der praktisch keine Selbstinduktion besitzt, also z. B. mit einem Stromkreise, der nur Glühlampen enthält. Beim Betriebe der Maschine werden Wechselströme in dem Stromkreise erzeugt werden und die Phasen dieser Ströme werden theoretisch mit den Phasen der eingeprägten elektromotorischen Kraft zusammenfallen. Solche Ströme können als „unverzögerte“ Ströme betrachtet und bezeichnet werden.

Natürlich ist in Wirklichkeit im Stromkreise stets mehr oder weniger Selbstinduktion vorhanden, welche diese Verhältnisse in entsprechendem

Maasse modificirt; der Bequemlichkeit halber kann aber dies bei der Betrachtung der Wirkungsweise unberücksichtigt bleiben, da dieselben Gesetze anwendbar sind. Man nehme nun zunächst an, dass zwischen irgend zwei Punkten jenes Stromkreises eine Strombahn hergestellt werde, die z. B. aus dem primären Stromkreise eines Induktionsapparates bestehen möge. Die Phasen der durch den Primärkreis fliessenden Ströme werden dann infolge der Selbstinduktion desselben nicht mit den Phasen der eingeprägten elektromotorischen Kraft zusammenfallen, sondern hinter denselben zurückbleiben und zwar ist eine derartige Verzögerung der Selbstinduktion der genannten Spule direkt und ihrem Widerstande umgekehrt proportional. Die Einschaltung dieser Spule wird daher ein Zurückbleiben oder eine Verzögerung der durch sie hindurchfliessenden und vom Generator gelieferten Ströme hinter der eingeprägten elektromotorischen Kraft hervorbringen und zwar ist diese Verzögerung das Mittel oder die Resultante aus der Verzögerung des Stromes durch die Primärspule allein und des „unverzögerten Stromes" in dem ganzen Arbeitsstromkreis. Sodann betrachte man die Verhältnisse, wie sie sich gestalten, wenn man eine sekundäre Spule mit der primären Spule, welche erstere inducirt, verbindet. Der in der sekundären Spule erzeugte Strom wirkt zurück auf den primären Strom und modificirt die Verzögerung desselben je nach dem Betrage der Selbstinduktion und des Widerstandes im sekundären Stromkreise. Besitzt der Sekundärkreis nur wenig Selbstinduktion, wie z. B. wenn er nur Glühlampen enthält, so wird er die wirkliche Phasendifferenz zwischen dem in ihm fliessenden und dem primären Strome erhöhen einmal durch Verringerung des Zurückbleibens zwischen dem primären Strome und der eingeprägten elektromotorischen Kraft und zweitens durch sein eigenes Zurückbleiben hinter der eingeprägten elektromotorischen Kraft. Andererseits wird, wenn der Sekundärkreis eine hohe Selbstinduktion besitzt, die Verspätung des Stromes in demselben hinter dem Strome in dem Primärkreise direkt vergrössert, während sie noch weiter vergrössert wird, wenn der Primärkreis nur eine sehr niedrige Selbstinduktion besitzt. Die besseren Resultate erhält man, wenn der primäre Stromkreis eine geringe Selbstinduktion hat.

Fig. 75 ist ein Diagramm eines Tesla-Motors, bei welchem dieses Princip zur Anwendung gekommen ist. Fig. 76 ist ein ähnliches Diagramm einer Modifikation desselben. In Fig. 75 bezeichne *A* den Feldmagneten eines Motors, welcher, wie bei allen diesen Motoren, aus Platten aufgebaut ist. *B C* sind Polvorsprünge, auf welche die Spulen gewickelt sind. Auf das eine Paar dieser Pole, z. B. *C*, sind Primär-

spulen *D* gewickelt, welche direkt mit dem Stromkreis einer Wechselstrommaschine *G* verbunden sind. Auf die nämlichen Pole sind ferner Sekundärspulen *F*, entweder neben oder über oder unter den Primärspulen, gewickelt und diese sind mit andern die Pole *BB* umschliessenden Spulen *E* verbunden. Die Ströme sowohl in den primären wie in den sekundären Spulen eines solchen Motors werden hinter der eingeprägten elektromotorischen Kraft zurückbleiben; um aber einen passenden Phasenunterschied zwischen den primären und sekundären Strömen selbst zu erzielen, ist der Widerstand im sekundären Stromkreis verstärkt und seine Selbstinduktion soviel wie möglich reducirt. Dies ist dadurch erreicht, dass für den sekundären Stromkreis, besonders in den Spulen *E*, Draht von verhältnissmässig kleinem Durchmesser, der nur in wenig

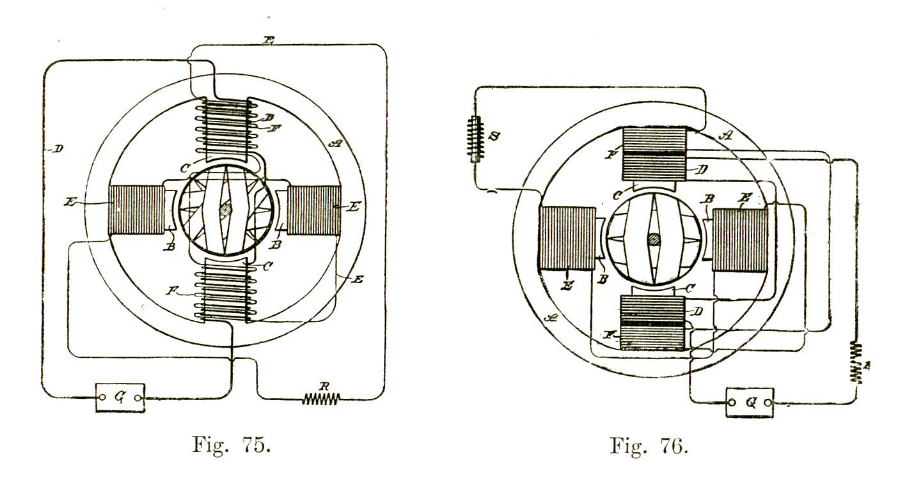


Fig. 75. Fig. 76.

Windungen um die Kerne gewickelt ist, verwendet oder auch ein Leiter von grösserem specifischen Widerstande z. B. Neusilber benutzt oder an irgend einer Stelle in den sekundären Stromkreis ein künstlicher Widerstand *R* eingeschaltet ist. Auf diese Weise wird die Selbstinduktion der sekundären Spule gering und ihr Widerstand vergrössert, was zur Folge hat, dass der Strom in den primären Spulen hinter der eingeprägten elektromotorischen Kraft weniger zurückbleibt und der Phasenunterschied zwischen dem primären und sekundären Strome grösser wird.

Bei der in Fig. 76 dargestellten Disposition wird das Zurückbleiben im sekundären Stromkreise durch Vergrösserung der Selbstinduktion dieses Stromkreises vergrössert, während die wachsende Tendenz des primären Kreises zurückzubleiben durch Einschaltung eines todten Widerstandes in denselben kompensirt wird. Die primären Spulen *D* haben in diesem

Falle eine geringe Selbstinduktion und hohen Widerstand, während die in den sekundären Stromkreis eingeschalteten Spulen EF eine hohe Selbstinduktion und geringen Widerstand besitzen. Dies kann durch passende Wickelung der Spulen erreicht werden, oder man kann in den die sekundären Spulen EF enthaltenden Stromkreis eine Selbstinduktionsspule S einschalten, während in den primären vom Generator G kommenden und die Spulen D enthaltenden Stromkreis ein todter Widerstand R eingeschaltet werden kann. Hierdurch wird die Phasendifferenz zwischen dem primären und sekundären Strome vergrössert. Offenbar können beide Mittel, die Phasendifferenz zu vergrössern, nämlich die specielle Wickelung der Spulen und die Hinzufügung eines äusseren induktiven und todten Widerstandes, zusammen angewendet werden.

Bei dem Funktioniren dieses Motors induciren die Stromimpulse in den Primärspulen Ströme in den sekundären Spulen und durch die vereinigte Wirkung beider werden die Punkte grösster magnetischer Attraktion verschoben oder rotirt.

In der Praxis erweist es sich als zweckmässig, den Anker mit geschlossenen Spulen zu bewickeln, in denen durch die Wirkung der Primärspulen auf sie Ströme inducirt werden.

---

20. Kapitel.

Verbindungen eines synchronen Motors und eines selbst angehenden Motors.

In den vorhergehenden Beschreibungen betreffend synchrone Motoren und die zu ihrer Bethätigung benutzten Methoden ist auf das von Tesla angewendete Verfahren hingewiesen worden, welches in der Hauptsache darin besteht, dass der Motor in solcher Weise gewickelt oder angeordnet wird, dass er mit Hülfe geeigneter Umschaltvorrichtungen als Motor mit mehrfachem Stromkreise oder als ein durch das Umlaufen seiner magnetischen Pole funktionirender Motor in Gang gesetzt und dann, wenn er die richtige Geschwindigkeit erlangt hat, in einen gewöhnlichen synchronen Motor oder in einen, bei welchem die magnetischen Pole einfach alternirt werden, verwandelt werden kann. In einigen Fällen, z. B. wenn ein grosser Motor gebraucht wird und die Zahl der Wechsel sehr hoch ist, ist es mehr oder weniger schwierig, den Motor als Motor mit doppeltem oder mehrfachem Stromkreise auf die richtige

Geschwindigkeit zu bringen, da bei demjenigen Konstruktionsplan, welcher den Motor zum Betriebe als Synchronmotor am besten geeignet macht, die Leistungsfähigkeit desselben als Motor mit Anlaufszugkraft oder doppeltem Stromkreise unter den angenommenen Verhältnissen beim Anlaufen ungünstig wird. Dies ist leicht einzusehen, da bei einem grossen synchronen Motor die Länge des magnetischen Stromkreises der Polvorsprünge und die Masse der letzteren so gross sind, dass offenbar eine beträchtliche Zeit zu ihrer Magnetisirung und Entmagnetisirung erforderlich ist. Demnach kann der Motor bei einem Strom von sehr hoher Wechselzahl nicht zweckmässig arbeiten. Um diesen Uebelstand zu beseitigen und einen synchronen Motor, in welchem diese Verhältnisse bestehen, zum Anlaufen zu bringen, hat Tesla zwei Motoren kombinirt, von denen der eine ein synchroner Motor, der andere ein Motor mit mehrfachem Stromkreise oder mit Anlaufszugkraft ist; durch letzteren wird der erstgenannte auf die normale Geschwindigkeit gebracht und dann entweder der ganze Strom auf den synchronen Motor übertragen oder beide Motoren zugleich betrieben.

Diese Erfindung schliesst mehrere neue und nützliche Eigenthümlichkeiten ein. Zunächst bemerkt man, dass beide Motoren ohne jede Kommutatoren betrieben werden, und ferner, dass die Geschwindigkeit des Anlaufsmotors höher sein kann als diejenige des synchronen Motors, was der Fall ist, wenn er eine kleinere Anzahl von Polen oder Polgruppen enthält, so dass der Motor schneller und leichter zur normalen Geschwindigkeit gebracht wird. Drittens kann der synchrone Motor derart konstruirt werden, dass er eine ausgesprochenere Tendenz zum Synchronismus besitzt, ohne Beeinträchtigung der Leichtigkeit, mit der er anläuft.

Fig. 77 ist eine Schnittansicht der beiden Motoren; Fig. 78 eine Endansicht des synchronen Motors, Fig. 79 eine Endansicht und theilweiser Schnitt des Motors mit Anlaufszugkraft oder doppeltem Stromkreis, Fig. 80 ein Diagramm der angewendeten Schaltungen, und die Figuren 81, 82, 83, 84 und 85 stellen Diagramme modificirter Anordnungen beider Motoren dar.

Insofern als keiner der beiden Motoren irgend welche Arbeit verrichtet, während der Strom auf den andern wirkt, sind die beiden Anker starr verbunden, indem sie beide auf dieselbe Welle *A* montirt sind, während die Feldmagnete *B* des synchronen Motors und die Feldmagnete *C* des asynchronen Motors auf derselben Grundplatte *D* befestigt sind. Der synchrone Motor, welcher am besten der grössere von beiden ist, besitzt Polvorsprünge an seinem Anker, welche ganz dicht vor den Polen des

Feldes rotiren, und entspricht im Uebrigen den Bedingungen, welche behufs Erzielung der synchronisirenden Wirkung erforderlich sind. Die Polstücke des Ankers sind jedoch mit geschlossenen Spulen E bewickelt, da hierdurch die Anwendung von Schleifkontakten vermieden wird. Der kleinere oder asynchrone Motor andererseits hat am besten einen cylindrischen, mit geschlossenen Spulen G bewickelten Anker ohne Polansätze. Die Feldspulen des von selbst angehenden Motors sind in zwei Reihen H und I geschaltet und der vom Generator kommende Wechselstrom wird in irgend einer Weise zwischen diesen beiden Stromkreisen getheilt, um ein Fortschreiten der Pole oder Punkte grösster magnetischer Wirkung zu erzeugen. Dieses Resultat wird dadurch erreicht, dass die beiden Motorstromkreise parallel in den vom Generator kommenden Stromkreis geschaltet werden, wobei in den einen Motorstromkreis ein todter Widerstand und in den andern eine Selbstinduktionsspule eingeschaltet und so ein Phasenunterschied zwischen beiden Theilströmen erzielt wird. Haben beide

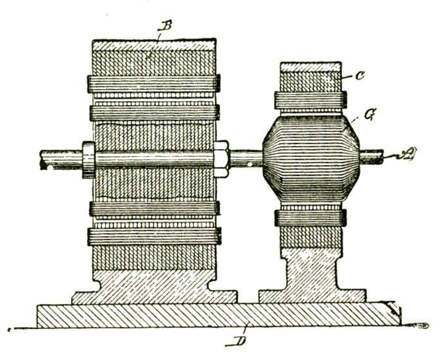


Fig. 77.

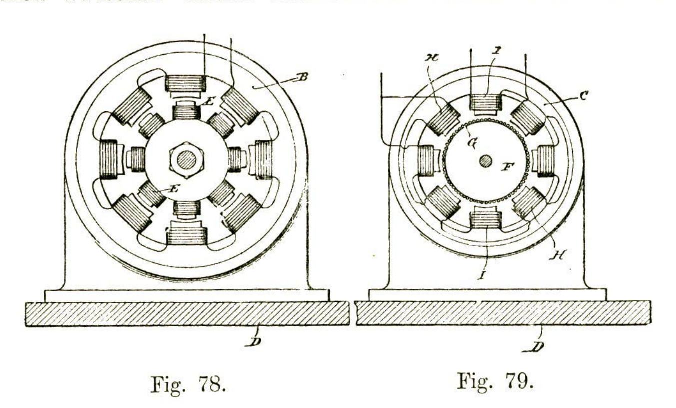


Fig. 78. Fig. 79.

Motoren gleich viel Feldpole, so wird der asynchrone Motor für eine gegebene Wechselzahl die doppelte Geschwindigkeit wie der andere anzunehmen suchen, denn, angenommen, die Verbindungen seien derart, dass die besten Resultate erhalten werden, so werden die Pole desselben in zwei Gruppen zerfallen und die Anzahl der Pole in Wirklichkeit auf die Hälfte vermindert werden, die dann, da dieselbe Anzahl von Wechseln

auf sie wirkt, den Anker mit doppelter Geschwindigkeit zu rotiren suchen. Hierdurch wird der Hauptanker leichter auf die erforderliche Geschwindigkeit gebracht. Ist die für den Synchronismus nothwendige Geschwindigkeit dem Hauptmotor mitgetheilt, so wird der Strom von dem selbst angehenden Motor auf den andern Motor umgeschaltet.

Eine bequeme Anordnung zur Ausführung dieser Erfindung ist in Fig. 80 dargestellt, in welcher *JJ* die Feldspulen des synchronen und *HI* die Feldspulen des Anlaufsmotors bedeuten. *LL'* sind die Zuleitungen vom Generator. Das eine Ende z. B. der Spulen *H* ist mit der Leitung *L* über eine Selbstinduktionsspule *M* verbunden, wogegen das eine Ende der andern Spulengruppe *I* mit der nämlichen Leitung über einen todten Widerstand *N* verbunden ist. Die andern Enden dieser beiden Stromkreise sind mit dem Kontakte *m* eines Umschalters verbunden, dessen Hebel mit dem Liniendrahte *L'* in Verbindung steht. Das eine Ende des Feldstromkreises des synchronen Motors ist an den Draht *L* angeschlossen, während das andere nach dem Umschalterkontakt *n* führt. Aus dem Diagramm ist leicht ersichtlich, dass, wenn der Hebel *P* auf Kontakt *m* gedreht wird, der Anlaufsmotor infolge der Phasendifferenz zwischen den Strömen in seinen beiden Erregerstromkreisen angeht. Wird dann, nachdem die gewünschte Geschwindigkeit erreicht ist, der Hebel *P* auf Kontakt *n* gelegt, so wird der ganze Strom durch die Feldspulen des synchronen Motors gehen und der andere Motor wird keine Arbeit leisten.

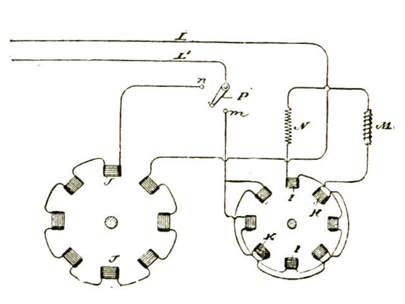


Fig. 80.

Der selbst angehende Motor kann auf verschiedene Arten konstruirt und betrieben werden, von denen mehrere bereits erwähnt wurden. Es ist nicht nöthig, dass der eine Motor aus dem Stromkreis ausgeschaltet wird, während der andere eingeschaltet ist, da beide gleichzeitig durch den Strom bethätigt werden können, für welchen Zweck Tesla verschiedene Anordnungen und Einrichtungen der beiden Motoren angegeben hat. Einige dieser Anordnungen sind in den Fig. 81 — 85 dargestellt.

In Fig. 81 bedeute *T* den Anlaufsmotor oder Motor mit mehrfachem Stromkreise und *S* den synchronen Motor, während *LL'* die Zuleitungen von einer Wechselstromquelle sind. Die beiden verschiedene Selbstinduktion besitzenden Stromkreise des Anlaufsmotors, die mit *NM* bezeichnet sind, sind in Parallelschaltung mit der Leitung *L* verbunden. Sie sind

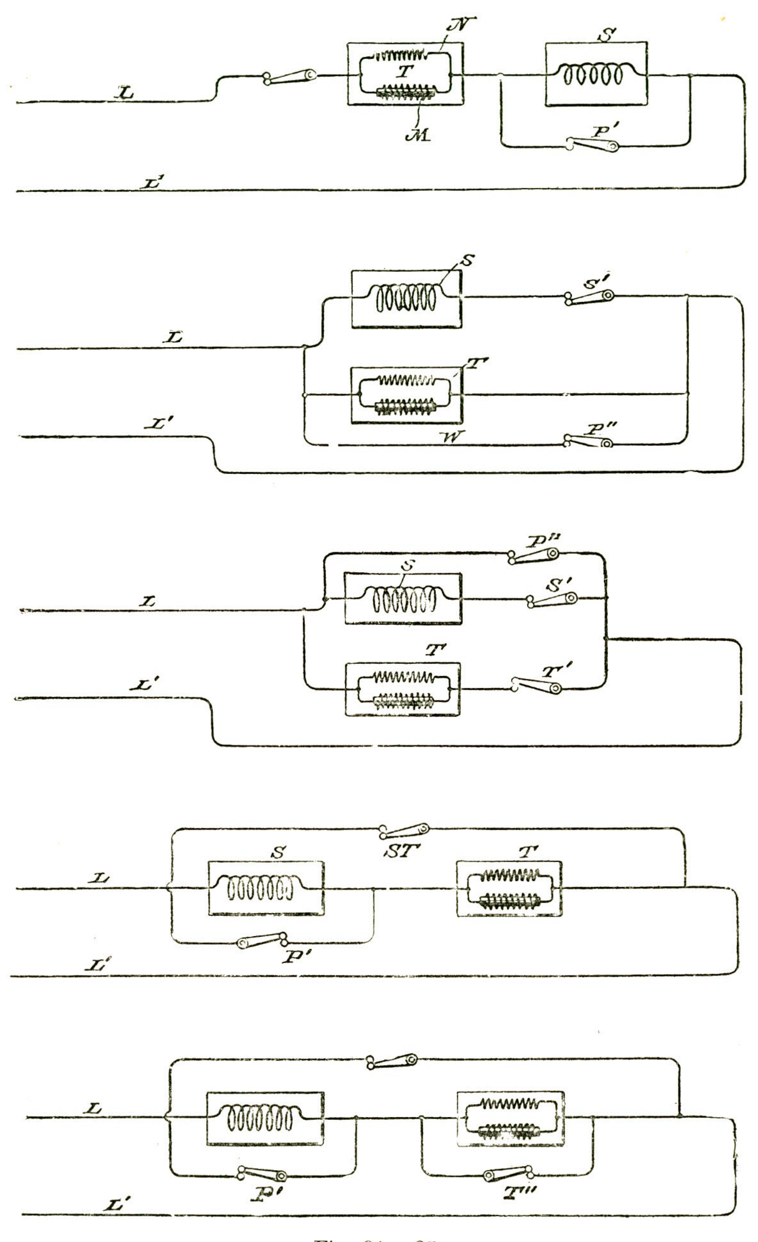


Fig. 81—85.

dann wieder vereinigt und an den Erregerstromkreis des synchronen Motors angeschlossen, dessen andere Klemme mit der Leitung L' ver-

bunden ist. Die beiden Motoren sind daher hinter einander geschaltet. Um dieselben in Gang zu setzen, schliesst Tesla den synchronen Motor durch einen Schalter P' kurz, infolge dessen der ganze Strom durch den Anlaufsmotor geht. Ist alsdann die gewünschte Geschwindigkeit erreicht, so wird der Schalter P' geöffnet, so dass der Strom jetzt durch beide Motoren geht. Bei einer solchen Anordnung wie dieser ist es offenbar aus ökonomischen und andern Gründen erwünscht, dass zwischen den Geschwindigkeiten der beiden Motoren eine geeignete Beziehung festgehalten wird.

In Fig. 82 ist eine andere Disposition dargestellt. S bedeutet den synchronen und T den selbst angehenden Motor und die Stromkreise beider sind parallel geschaltet. W ist ein Stromkreis, der ebenfalls den Motorstromkreisen parallel geschaltet ist und einen Ausschalter P'' enthält. S' ist ein Ausschalter im Stromkreis des synchronen Motors. Beim Anlassen wird der Ausschalter S' geöffnet und dadurch der Motor S ausgeschaltet. Dann wird P'' geöffnet, wodurch der ganze Strom durch den Motor T geht und demselben ein sehr starkes Drehmoment ertheilt. Ist die gewünschte Geschwindigkeit erreicht, so wird S' geschlossen und der Strom dadurch zwischen beiden Motoren getheilt. Mittels des Ausschalters P'' können beide Motoren ausgeschaltet werden.

In Fig. 83 ist die Anordnung wesentlich dieselbe, nur dass ein Ausschalter T' in denjenigen Stromkreis, welcher die beiden Stromkreise des Anlaufsmotors enthält, eingefügt ist. Fig. 84 zeigt die beiden Motoren in Hintereinanderschaltung, mit einem einen Ausschalter $S\,T$ enthaltenden Nebenschluss um beide. Auch um den Synchronmotor S ist ein Nebenschluss mit einem Ausschalter P' angebracht. In Fig. 85 ist dieselbe Disposition dargestellt, nur ist jeder Motor mit einem Nebenschluss versehen, in welchem sich, wie ersichtlich, Ausschalter P' und T'' befinden.

---

21. Kapitel.

Motor mit einem Kondensator im Ankerstromkreis.

Wir kommen nun zu einer neuen Klasse von Motoren, bei welcher zur Erzeugung der erforderlichen Phasendifferenz und Neutralisirung der Wirkungen der Selbstinduktion Kondensatoren zu Hülfe genommen werden. Tesla versuchte schon frühzeitig, den Kondensator auf Wechselstromapparate anzuwenden; auf wie viele Arten dies geschah, kann man

nur aus einer Durchsicht der andern Abschnitte dieses Buches, insbesondere derjenigen, welche über seine Arbeiten mit Strömen von hohen Wechselzahlen handeln, erfahren.

Die Wirkungen, welche von einem Kondensator hervorgebracht werden, der mit einem elektrischen Stromkreis verbunden ist, durch welchen ein Wechselstrom oder allgemein ein undulirender Strom gesandt wird, unterliegen bestimmten Gesetzen. Einige der wichtigsten dieser Wirkungen sind folgende: Erstens, wenn die Klemmen oder Platten eines Kondensators mit zwei Punkten eines Stromkreises verbunden werden, deren Potentiale in rascher Aufeinanderfolge steigen und fallen, so gestattet der Kondensator den Durchgang oder, genauer gesprochen, die Uebertragung eines Stromes, obwohl seine Platten oder Belegungen so sorgfältig isolirt sein können, dass sie den Durchgang eines Stromes von unveränderlicher Stärke oder Richtung und von mässiger elektromotorischer Kraft beinahe vollständig verhindern. Zweitens, wenn ein Stromkreis, dessen Enden mit den Platten des Kondensators verbunden sind, eine gewisse Selbstinduktion besitzt, so wird der Kondensator in einem grösseren oder geringeren, von bekannten Bedingungen abhängigen Grade die Wirkungen dieser Selbstinduktion neutralisiren. Drittens, wenn zwei Punkte eines geschlossenen Stromkreises, durch welchen ein rasch steigender und fallender Strom fliesst, durch einen Kondensator nebengeschlossen oder überbrückt werden, so wird eine Variation der Stärke und ferner eine Phasendifferenz der in den Zweigen fliessenden Ströme hervorgerufen. Diese Wirkungen hat Tesla auf verschiedene Weisen bei dem Bau und Betriebe seiner Motoren verwerthet, z. B. indem er eine Phasendifferenz in den beiden Erregerstromkreisen eines Wechselstrommotors dadurch erzeugte, dass er die beiden Stromkreise parallel schaltete und in einen der Stromkreise einen Kondensator in Serie einschaltete. Eine weitere Anwendung indessen besitzt gewisse neue Eigenheiten von praktischem Werthe und setzt die Kenntniss einiger weniger allgemein bekannten Thatsachen voraus. Dieselbe betrifft die Verwendung eines oder mehrerer Kondensatoren in Verbindung mit dem inducirten oder Ankerstromkreis eines Motors und gewisse Konstruktionsdetails solcher Motoren. Bei einem Wechselstrommotor der oben speciell angeführten Type oder bei jedem andern Motor, der eine in sich selbst geschlossene Ankerwickelung besitzt, stellt die letztere nicht nur einen induktiven Widerstand dar, sondern einen, der periodisch im Werthe variirt, welche beiden Umstände die Erreichung der für einen rationellen Betrieb günstigsten Verhältnisse kompliciren und erschweren; mit andern Worten, dieselben erfordern erstens, dass für eine gegebene induktive Wirkung

auf den Anker der grösstmögliche Strom durch die Anker- oder inducirten Spulen fliesst, und zweitens, dass stets zwischen den Strömen in dem erregenden und inducirten Stromkreise eine gegebene Phasendifferenz besteht. Alles was zur Verminderung der Selbstinduktion und zur Verstärkung des Stromes in den inducirten Stromkreisen beiträgt, wird daher unter sonst gleichen Umständen die Leistung und den Wirkungsgrad des Motors vergrössern, und dasselbe wird auch gelten von den Ursachen, welche die gegenseitige Attraktion zwischen den Feldmagneten und dem Anker auf ihrem Maximum zu erhalten suchen. Tesla erzielt diese Resultate dadurch, dass er mit dem oder den inducirten Stromkreisen in der nachher beschriebenen Weise einen Kondensator verbindet, und konstruirt auch zu diesem Zwecke den Motor in besonderer Weise.

Was die Zeichnungen anbelangt, so stellt Fig. 86 das Schema eines Wechselstrommotors dar, bei welchem das in Rede stehende Princip zur Anwendung gelangt ist. Fig. 87 ist ein Centralschnitt einer besonderen Form des Ankerkerns durch die Längsachse der Welle. Fig. 88 ist ein ähnlicher Schnitt einer Modifikation desselben; Fig. 89 stellt einen der Schnitte des abgenommenen Kernes dar. Fig. 90 endlich giebt ein Schema einer modificirten Einrichtung der Anker- oder inducirten Stromkreise.

Die Erfindung ist in ihren allgemeinen Umrissen in Fig. 86 dargestellt. In dieser Figur bezeichnen *AA* das Gestell und die Feldmagnete eines Wechselstrommotors, dessen Polvorsprünge mit Bewickelungen *B* und *C* versehen sind, die unabhängige Erregerstromkreise bilden, welche entweder mit derselben oder mit unabhängigen Wechselstromquellen verbunden sind, derart, dass die durch die beiden Stromkreise fliessenden Ströme eine Phasendifferenz aufweisen. In dem Wirkungsbereich dieses Feldes befindet sich ein mit Spulen *E* bewickelter Ankerkern *D*. Bei Motoren der früher beschriebenen Art sind diese Spulen in sich selbst geschlossen oder zu geschlossenen Gruppen vereinigt; im vorliegenden Falle aber endet jede Spule oder jede Spulengruppe in den entgegengesetzten Platten eines Kondensators *F*. Zu diesem Zwecke sind die Enden der Spulengruppen durch die Welle hindurch zu Schleifringen *G* geführt, welche mit dem Kondensator durch Kontaktbürsten *H* und geeignete Leiter verbunden sind. Der Kondensator ist unabhängig von der Maschine. Die Ankerspulen sind derart gewickelt oder geschaltet, dass benachbarte Spulen entgegengesetzte Pole erzeugen.

Der Motor wirkt in folgender Weise. Ist der Motor in Gang gesetzt und werden die Spulen der Feldmagnete von Wechselströmen durchflossen, so werden durch die eine Gruppe der Feldmagnetspulen, z. B. *B*,

in den Ankerspulen Ströme inducirt und die hierdurch erzeugten Pole werden von der andern Gruppe *C* beeinflusst. Die Ankerspulen haben jedoch nothwendig eine hohe Selbstinduktion, welche das Hindurchfliessen

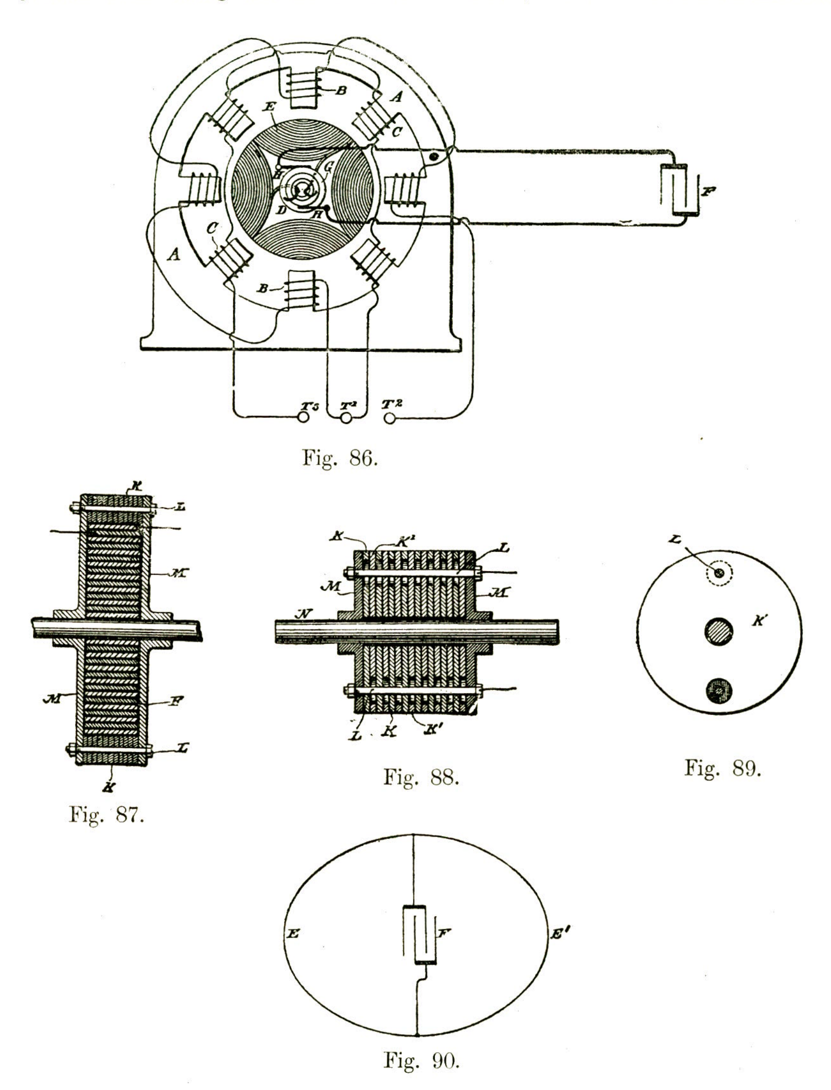


Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 88.

Fig. 89.

Fig. 90.

der so erzeugten Ströme zu verhindern sucht. Der Kondensator *E* gestattet nicht nur den Durchgang oder die Uebertragung dieser Ströme, sondern paralysirt auch die Wirkungen der Selbstinduktion und durch geeignete Regulirung der Kapacität des Kondensators, der Selbstinduktion der Spulen und der Perioden der Ströme kann man erreichen, dass die

Wirkung der Selbstinduktion durch den Kondensator vollständig aufgehoben wird.

Mit Rücksicht auf die Unzweckmässigkeit der Anwendung irgend welcher Schleifkontakte ist es am besten, den Kondensator direkt mit dem Anker zu vereinigen oder denselben als Theil des Ankers auszuführen. In einigen Fällen baut Tesla den Anker aus ringförmigen Platten *KK* auf, die durch Bolzen *L* zwischen an der Triebwelle befestigten Kappen *M* zusammen-gehalten werden, und bringt in den auf diese Weise gebildeten Hohlraum einen Kondensator *F*, indem er im Allgemeinen die beiden isolirten Platten spiralig um die Welle herumwickelt. In andern Fällen benutzt er die Platten des Kernes selbst als Kondensatorplatten. In den Fig. 88 und 89 z. B. ist *N* die Triebwelle, *MM* sind die Kappen des Ankerkernes und *KK'* die Eisenplatten, aus denen der Kern aufgebaut ist. Diese Platten sind von der Welle und von einander isolirt und werden durch Stäbe oder Bolzen *L* zusammen gehalten. Die Bolzen gehen durch eine weite Oeffnung in der einen Platte und eine enge Oeffnung in der nächstanliegenden Platte u. s. w. hindurch und verbinden so elektrisch alle Platten *K*, die hierdurch die eine Belegung eines Kondensators bilden, während die andere Belegung von sämmtlichen Platten *K'* gebildet wird.

Mit jedem der vorbeschriebenen Kondensatoren können die Ankerspulen in der bei Fig. 86 auseinandergesetzten Weise verbunden werden.

Bei Motoren, in welchen die Ankerspulen in sich geschlossen sind, wie z. B. bei jeder Art von Wechselstrommotoren, bei denen sich die eine Ankerspule oder Spulengruppe in der Lage der maximalen Induktion bezüglich der Feldspulen oder Pole befindet, während gleichzeitig die andere Spulengruppe der geringsten Induktion ausgesetzt ist, werden die Spulen am besten sämmtlich hinter einander geschaltet und zwei Punkte des so gebildeten Stromkreises durch einen Kondensator überbrückt. Dies ist in Fig. 90 dargestellt, in welcher *E* die eine Gruppe der Ankerspulen und *E'* die andere darstellt. Ihre Vereinigungspunkte sind durch einen Kondensator *F* verbunden. Man wird bemerken, dass bei dieser Anordnung die Selbstinduktion der beiden Zweige *E* und *E'* mit ihrer Lage relativ zum Feldmagneten variirt und dass jeder Zweig abwechselnd die Hauptquelle der inducirten Ströme ist. Hiernach ist die Wirkung des Kondensators *F* eine zweifache: Erstens verstärkt derselbe abwechselnd den Strom in jedem der Zweige, und zweitens ändert er die Phase der Ströme in den Zweigen, was die bekannte aus der oben beschriebenen Einschaltung eines Kondensators in einen Stromkreis resultirende Wirkung ist. Diese Wirkung hat auf das zweck-

mässige Arbeiten des Motors einen günstigen Einfluss, da sie den infolge einer gegebenen induktiven Wirkung in den Ankerstromkreisen fliessenden Strom verstärkt und ferner zur Folge hat, dass die Maxima der magnetischen Wirkungen von Feld- und Ankerpolen näher zusammenfallen.

Natürlich muss den Ursachen, welche auf die Wirksamkeit der Kondensatoren bei ihrer Anwendung auf Fälle der oben beschriebenen Art von Einfluss sind, bei der Beurtheilung der Ausführbarkeit und Leistungsfähigkeit der Motoren gebührend Rechnung getragen werden. Die hauptsächlichste unter diesen Ursachen ist bekanntlich die Periodicität des Stromes und daher sind die angegebenen Verbesserungen speciell für solche Systeme geeignet, bei welchen ein sehr rascher Wechsel des Stromes stattfindet.

Obwohl diese Erfindung an einer besonderen Motorform erläutert wurde, ist ersichtlich, dass sie in gleicher Weise auf jeden anderen Wechselstrommotor mit geschlossener Ankerbewickelung, in welcher durch die Wirkung des Feldes Ströme inducirt werden, anwendbar ist, und dass sich die Platten oder Lamellen eines magnetischen Kernes zur Bildung des Kondensators im Allgemeinen auch bei anderen Arten von Wechselstromapparaten benutzen lassen.

---

22. Kapitel.

Motor mit einem Kondensator in einem der Feldmagnetstromkreise.

Sind die Feld- oder Erregungsstromkreise eines Drehstrommotors beide aus derselben Wechselstromquelle abgeleitet und wird in den einen derselben ein Kondensator von passender Kapacität eingeschaltet, so kann man zwischen den direkt von der Stromquelle kommenden Strömen und den durch den Kondensator fliessenden Strömen annähernd die gewünschte Phasendifferenz erzielen. Indessen stehen der grosse Umfang und die Kosten der Kondensatoren, welche zu diesem Zweck bei den gewöhnlichen Systemen von verhältnissmässig niedriger Spannung erforderlich sein würden, ihrer Anwendung ausserordentlich hindernd entgegen.

Eine andere, heutzutage wohlbekannte Methode, zwischen den Erregungsströmen derartiger Motoren eine Phasendifferenz zu erhalten, besteht darin, dass man durch die Ströme in dem einen Stromkreise diejenigen in dem andern oder in den andern Stromkreisen inducirt. Da

aber noch kein Mittel vorgeschlagen worden war, durch welches auf diesem Wege zwischen den Phasen des primären oder inducirenden Stromes und des sekundären oder inducirten Stromes die für einen praktischen und ökonomischen Betrieb am besten geeignete Differenz — theoretisch 90° — erzielt werden könnte, so hat Tesla ein Verfahren angegeben, nach welchem nicht nur die beiden oben angegebenen Methoden ausführbar sind, sondern auch ein ökonomischer und leistungsfähiger Wechselstrommotor erhalten wird. Seine Erfindung besteht darin,

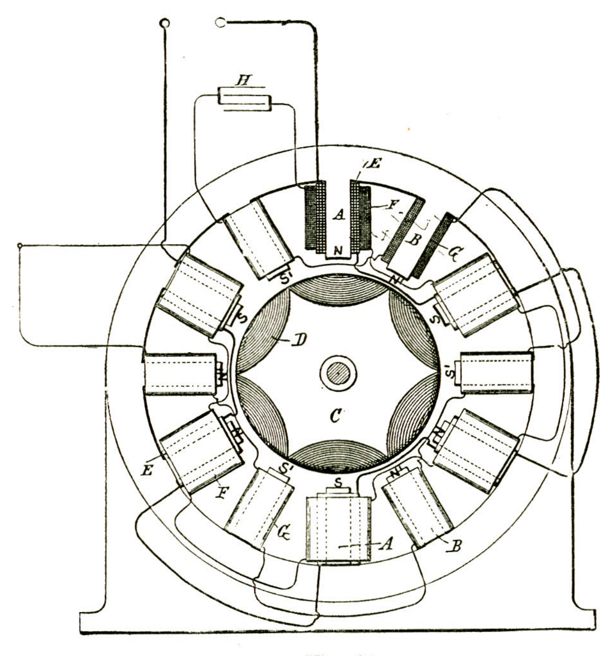


Fig. 91.

dass er in den sekundären oder inducirten Stromkreis des oben beschriebenen Motors einen Kondensator einschaltet und die Spannung der sekundären Ströme derart erhöht, dass die zum Theil von der Spannung abhängige Kapacität des Kondensators nur gering zu sein braucht. Die Grösse dieses Kondensators wird in bekannter Weise mit Rücksicht auf die Selbstinduktion und andere Verhältnisse des Stromkreises derart bestimmt, dass die durch ihn fliessenden Ströme sich von den Primärströmen um eine Viertelphase unterscheiden.

Fig. 91 stellt die Erfindung in ihrer Ausführung an einem Motor dar, bei welchem die Induktionswirkung zwischen primärem und sekun-

därem Stromkreise dadurch erreicht ist, dass dieselben innerhalb des Motors zum Theil auf dieselben Kerne gewunden sind; die Erfindung ist jedoch allgemein auf andere Motorformen anwendbar, bei denen der eine der Erregungsströme in irgend einer Weise von dem andern inducirt wird.

A B stellen die Pole eines Wechselstrommotors dar, dessen Anker *C*, wie es jetzt bei Motoren dieser Art allgemein gebräuchlich ist, mit in sich geschlossenen Wickelungen *D* versehen ist. Die Pole *A*, welche mit Polen *B* abwechseln, sind mit Spulen *E* von gewöhnlichem oder dickem Drahte in solcher Richtung bewickelt, dass sie, wie in der Figur durch die Buchstaben *N S* angedeutet, abwechselnd Nord- und Südmagnetismus zeigen. Ueber diese Spulen und durchgängig in derselben Richtung wie die Spulen *E* sind lange dünndrähtige Spulen *F F* gewickelt. Dieses sind die Sekundärspulen, in denen Ströme von sehr hoher Spannung inducirt werden. Sämmtliche Spulen *E* sind in einer Reihe hinter einander geschaltet und ebenso die sekundären Spulen *F*.

Auf die zwischenliegenden Pole *B* sind dünndrähtige Erregungsspulen *G* gewickelt, welche unter einander und mit der Reihe der Sekundärspulen *F* hinter einander geschaltet sind, und zwar ist der Wickelungssinn dieser Spulen derart, dass ein von den Primärspulen *E* inducirter Stromimpuls den Polen *B* dieselbe Polarität ertheilt, wie die, welche in den Polen *A* durch den primären Stromimpuls erzeugt wird. Dies Verhalten ist durch die Buchstaben *N' S'* angedeutet.

In den durch die beiden Spulensysteme *F* und *G* gebildeten Stromkreis ist ein Kondensator *H* eingeschaltet; sonst ist dieser Stromkreis in sich geschlossen, während die freien Enden des Stromkreises der Spulen *E* mit einer Wechselstromquelle verbunden sind. Da die in jedem besonderen Motor erforderliche Kondensatorkapacität von der Geschwindigkeit der Stromwechsel oder von der Spannung oder von beiden abhängt, können die Grösse oder die Kosten des Kondensators, wie vorher auseinandergesetzt, beim Gebrauch in den gewöhnlichen Stromkreisen auf ein der Oekonomie entsprechendes Maass herabgedrückt werden, falls die Spannung des sekundären Stromkreises im Motor genügend hoch ist. Giebt man dem Kondensator passende Werthe, so kann man jede gewünschte Phasendifferenz zwischen dem primären und sekundären Erregungsstromkreise erhalten.

---

23. Kapitel.

Tesla's Mehrphasentransformator.

Indem Tesla das Mehrphasenprincip wie auf die schon angeführten Motoren so auch auf die Konstruktion von Transformatoren anwendete, erfand er einige sehr interessante Formen, die nach seiner Meinung von den Mängeln der früheren und gegenwärtig bekannteren Formen frei sind. Bei diesen Transformatoren verwendet er eine Reihe von inducirenden und entsprechenden inducirten Spulen, welche im Allgemeinen auf einen in sich geschlossenen Kern, gewöhnlich einen untertheilten Eisenring, gewickelt sind.

Die beiden Spulensysteme sind neben oder über einander oder sonst auf eine der bekannten Weisen gelagert, durch welche sie zu einander und zum Kern in die wirksamste Beziehung gebracht werden. Die auf den Kern gewundenen inducirenden oder primären Spulen sind durch geeignete elektrische Verbindungen in Paare oder Gruppen getheilt, derart dass, während die Spulen des einen Paars oder der einen Gruppe zusammen wirken, um die magnetischen Pole des Kerns an zwei diametral gegenüber liegenden Punkten fest zu halten, die Spulen des andern Paares oder der andern Gruppe — wir wollen der Einfachheit wegen annehmen, dass nur zwei vorhanden sind — die Pole um 90° von jenen Punkten entfernt zu fixiren suchen. In Verbindung mit diesem Induktionsapparat wird ein Wechselstromgenerator benutzt, dessen Spulen oder Spulengruppen denen des Transformators entsprechen und die zusammengehörigen Spulen des Generators und Transformators werden dann in unabhängige Stromkreise eingeschaltet. Es ergiebt sich hieraus, dass die verschiedenen elektrischen Phasen im Generator entsprechende magnetische Aenderungen im Transformator zur Folge haben, oder mit andern Worten, dass, sobald die Generatorspulen rotiren, die Punkte grösster magnetischer Intensität im Transformator allmählich verschoben und herumgedreht werden.

Fig. 92 ist ein Schema des Transformators und seiner elektrischen Verbindungen. Fig. 93 stellt einen horizontalen Centralschnitt durch Fig. 92 dar. Fig. 94 endlich ist ein Schema der Stromkreise des ganzen Systems, wobei der Generator im Schnitt dargestellt ist.

Tesla benutzt einen in sich geschlossenen Kern A, d. h. einen Kern in der Form eines Ringes von überall gleichem Querschnitt oder von äquivalenter Form, und stellt denselben, da die Leistungsfähigkeit des

Apparates durch Untertheilung des Kernes bedeutend erhöht wird, aus dünnen Streifen, Platten oder Drähten aus weichem Eisen her, die so gut als praktisch möglich elektrisch isolirt sind. Auf diesen Kern sind etwa vier Spulen $BBB'B'$ als Primärspulen gewickelt, für welche grosse Längen verhältnissmässig dünnen Drahtes verwendet werden. Ueber diese Spulen sind dann kürzere Spulen $CCC'C'$ aus dickerem Drahte gewickelt, welche die inducirten oder sekundären Spulen bilden. Die Konstruktion dieser oder irgend einer äquivalenten Form des Transformators kann auch, wie oben angedeutet, in der Weise weiter vervollkommnet werden, dass man diese Spulen mit Eisen umhüllt, also z. B. über die Spulen Lagen von isolirtem Eisendraht windet.

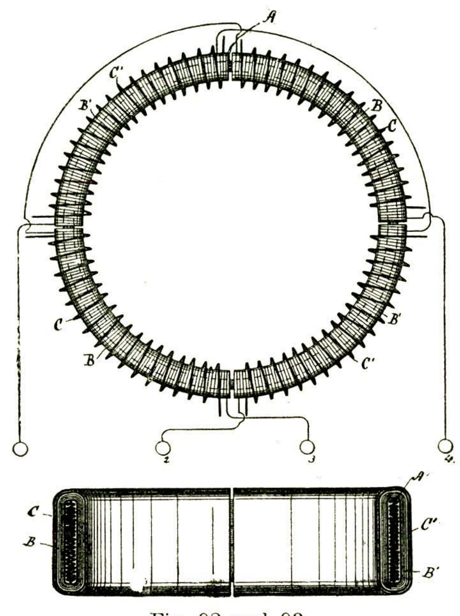


Fig. 92 und 93.

Der Apparat ist mit geeigneten Klemmschrauben versehen, an welche die Enden der Spulen gelegt sind. Die diametral gegenüber liegenden Spulen BB und $B'B'$ sind bezüglich hinter einander geschaltet und die vier Enden sind mit den Klemmen verbunden. Die inducirten Spulen sind in irgend einer Weise mit einander verbunden. Z. B. können, wie in Fig. 94 dargestellt, die Spulen CC, wenn eine grössere Stromstärke gewünscht wird — z. B. zum Betriebe einer Gruppe von Glühlampen — parallel geschaltet werden, während die Spulen $C'C'$ in einen Stromkreis, welcher Bogenlampen oder dergleichen enthält, unabhängig davon in Serie geschaltet werden können. Der Generator bei diesem System wird mit dem Transformator in der in der Figur dargestellten Weise verbunden. Im vorliegenden Falle sind beispielsweise ein Paar gewöhnlicher permanenter oder Elektromagnete EE, zwischen denen ein mit zwei Spulen GG' bewickelter cylindrischer Anker auf einer Welle F montirt ist, angewendet. Die Enden dieser Spulen sind respektive mit vier isolirten Kontakt- oder Schleifringen H, H, H', H' verbunden und die auf diesen Ringen aufliegenden Bürsten K sind mittels der vier Linienleitungen L an den Transformator in der dargestellten

Reihenfolge angeschlossen. Bezüglich der Resultate dieser Kombination möge bemerkt werden, dass in einem gegebenen Zeitpunkte die Spule G in ihrer neutralen Lage sich befindet und nur wenig oder gar keinen Strom erzeugt, während die andere Spule G' in einer Lage sich befindet, wo sie ihre grösste Wirkung ausübt.

Nimmt man an, dass Spule G mit den Spulen BB des Transformators und Spule G' mit den Spulen $B'B'$ hinter einander geschaltet sei, so ist ersichtlich, dass die Pole des Ringes A allein durch die Spulen $B'B'$ bestimmt sind; sobald aber der Anker des Generators rotirt, entwickelt Spule G mehr Strom und Spule G' weniger Strom, bis G ihr Maximum und G' ihre neutrale Lage erreicht. Das augenscheinliche Resultat hiervon ist die Verschiebung der Pole des Ringes A um ein Viertel seiner

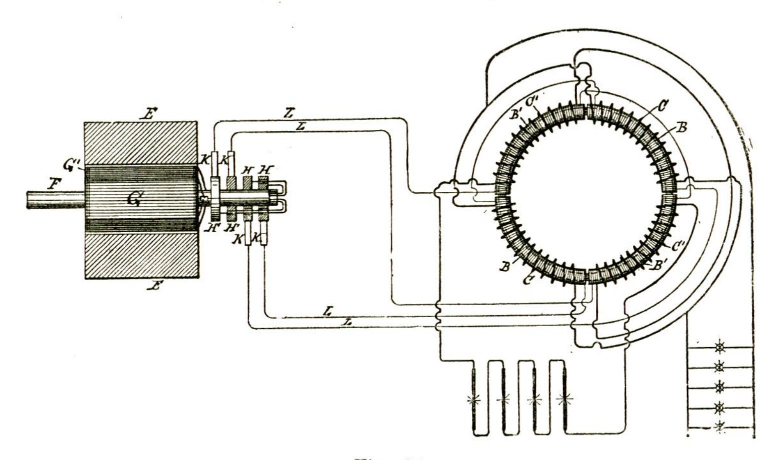


Fig. 94.

Peripherie. Die Bewegung der Spulen durch das nächste Viertel einer Umdrehung, während welcher Spule G' in ein Feld von entgegengesetzter Polarität tritt und einen Strom von entgegengesetzter Richtung und wachsender Stromstärke erzeugt, während Spule G beim Uebergange von ihrem Maximum zu ihrer neutralen Lage einen Strom von abnehmender Stärke und gleicher Richtung wie zuvor erzeugt, veranlasst eine weitere Verschiebung der Pole um das zweite Viertel des Ringes. Die zweite halbe Umdrehung ist offenbar eine Wiederholung derselben Wirkung. Durch das Umlaufen der Pole des Ringes A wird eine kräftige dynamische Induktionswirkung auf die Spulen CC' hervorgebracht. Ausser den in den sekundären Spulen durch dynamomagnetische Induktion erzeugten Strömen werden in denselben Spulen noch andere Ströme erzeugt infolge der vielen Variationen der Intensität der Pole im Ringe A. Dies

sollte durch Konstanthaltung der Intensität der Pole vermieden werden, zu welchem Zwecke man auf den Entwurf und die Dimensionirung des Generators, auf die Vertheilung der Spulen auf dem Ringe *A* und auf die richtige Abwägung ihrer Wirkung die gehörige Sorgfalt verwenden muss. Geschieht dies, so werden die Ströme durch dynamomagnetische Induktion allein erzeugt und es wird dasselbe Resultat erhalten, als ob die Pole durch einen Kommutator mit einer unendlich grossen Anzahl von Segmenten verschoben würden.

Die auf andere Formen von Transformatoren anwendbaren Modifikationen sind in mancher Hinsicht auch auf die gegenwärtige anwendbar, z. B. diejenigen, welche sich specieller auf die Form des Kernes, die relativen Längen und Widerstände der primären und sekundären Spulen und die Einrichtungen für den Betrieb oder die Bethätigung der Transformatoren erstrecken.

---

24. Kapitel.

Transformator für konstanten Strom mit magnetischem Schirm zwischen den Spulen des primären und sekundären Stromkreises.

Tesla hat sein Princip der magnetischen Schirmwirkung auch auf die Konstruktion von Transformatoren angewendet, wobei der Schirm zwischen die primären und sekundären Spulen gesetzt wird. Bei Transformatoren der gewöhnlichen Art fällt die Welle der elektromotorischen Kraft des Sekundärkreises sehr nahe mit derjenigen im Primärkreise zusammen, nur dass ihre Vorzeichen entgegengesetzt sind. Zu gleicher Zeit bleiben beide Ströme, der primäre sowohl wie der sekundäre, hinter ihren respektiven elektromotorischen Kräften zurück; da aber diese Verzögerung bei jedem praktisch oder nahezu die gleiche ist, so folgt, dass die Maxima und Minima des primären oder sekundären Stromes nahezu koincidiren und nur im Vorzeichen oder in der Richtung verschieden sind, vorausgesetzt, dass der sekundäre Stromkreis nicht belastet ist oder Apparate mit Selbstinduktion enthält. Andererseits kann die Verzögerung des primären Stromes gegen die eingeprägte elektromotorische Kraft durch Belastung des Sekundärkreises mit einem nicht induktiven oder todten Widerstande, wie zum Beispiel Glühlampen, wodurch das Zeitintervall zwischen den Perioden des Maximums und Minimums des primären und sekundären Stromes vergrössert wird, vermindert werden. Dieses Zeit-

intervall ist jedoch begrenzt und die Resultate, welche beim Betriebe derartiger Apparate wie der Tesla'schen Wechselstrommotoren durch Phasendifferenz erhalten werden, können durch die oben angegebenen Mittel zur Hervorbringung dieser Differenz nur annähernd verwirklicht werden, denn es ist in solchen Fällen wünschenswerth, dass zwischen dem primären und sekundären Strome oder zwischen denjenigen Strömen, welche, gleichgiltig wie sie erzeugt sind, durch die beiden Stromkreise des Motors gehen, eine Phasendifferenz von 90° besteht oder in andern Worten, dass der Strom in dem einen Kreise ein Maximum ist, während der in dem andern seinen kleinsten Werth besitzt. Um dieses Verhältniss in vollkommenerer Weise zu erreichen, wird eine grössere Verzögerung des sekundären Stromes folgendermassen herbeigeführt: Anstatt die primäre und sekundäre Spule eines Transformators, wie bisher geschehen, in möglichst nahe Beziehung zu einander zu bringen, schützt Tesla bis zu gewissem Grade die sekundäre Spule vor der induktiven Wirkung der primären, indem er entweder die primäre oder die sekundäre Spule mit einem verhältnissmässig dünnen magnetischen Schilde oder Schirme umgiebt. Unter diesen Umständen schützt der Schirm die sekundäre Spule, so lange der Primärstrom einen kleinen Werth besitzt; sobald aber der Primärstrom eine gewisse Stärke erreicht hat, welche nach Belieben bestimmt werden kann, wird der schützende magnetische Schirm gesättigt und die induktive Wirkung auf die Sekundärspule beginnt. Es folgt daher, dass der sekundäre Strom um einen gewissen Bruchtheil einer Periode später zu fliessen beginnt, als es ohne den zwischengelegten Schirm der Fall sein würde, und da diese Verzögerung erhalten werden kann, ohne dass nothwendig auch der primäre Strom verzögert wird, so wird eine weitere Verspätung erzielt und das Zeitintervall zwischen dem Eintreten des Maximums und Minimums des primären und sekundären Stromes wird vergrössert. Ein solcher Transformator kann durch passende Dimensionirung seiner verschiedenen Elemente und durch richtige Abschätzung der Beziehungen zwischen der primären und sekundären Wickelung, der Dicke des magnetischen Schirmes und aller anderen Verhältnisse in solcher Weise hergestellt werden, dass er bei allen Belastungen einen konstanten Strom giebt.

Fig. 95 stellt einen Querschnitt eines Transformators dar, bei welchem diese Verbesserung zur Ausführung gebracht ist. Fig. 96 ist eine ähnliche Ansicht einer abgeänderten Form des Transformators, in welcher die Art der Benutzung desselben schematisch angedeutet ist.

A A ist der Hauptkern des Transformators, bestehend aus einem Ringe aus weichem ausgeglühten und isolirten oder oxydirten Eisen-

draht. Auf diesen Kern ist die Sekundärspule *BB* gewickelt. Diese letztere ist dann mit einer oder mehreren Schichten geglühten und isolirten Eisendrahts *CC* bedeckt, der in einer Richtung senkrecht zur

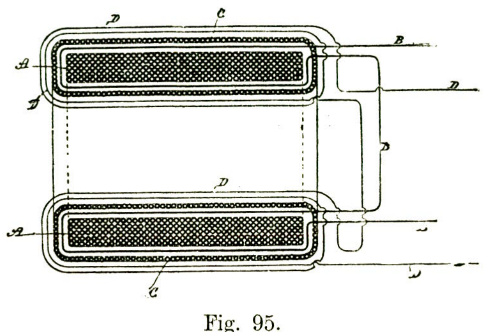


Fig. 95.

sekundären Spule gewickelt ist. Ueber das Ganze ist alsdann die primäre Spule *DD* gewunden. Aus der Natur dieser Konstruktion ist ersichtlich, dass, solange der von den Drähten *C* gebildete Schirm unterhalb seiner magnetischen Sättigung sich befindet, die sekundäre Spule vor dem induktiven Einfluss der primären wirksam geschützt ist, wenn sie auch bei offenem Stromkreise einige elektromotorische Kraft aufweisen

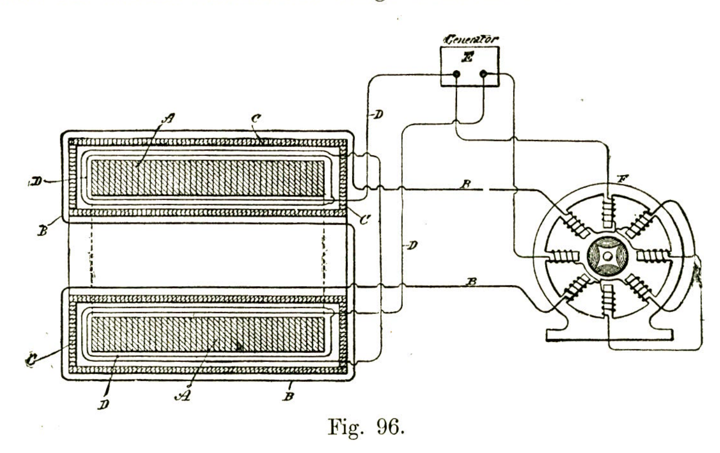


Fig. 96.

kann. Erreicht die Stärke des primären Stromes einen gewissen Werth, so hört der Schirm *C*, nachdem er gesättigt ist, auf, die sekundäre Spule vor der induktiven Wirkung zu schützen, und es wird infolgedessen ein Strom in letzterer erzeugt. Aus ähnlichen Gründen wird, wenn der Primärstrom abnimmt, das Abnehmen des sekundären Stromes in gleichem oder annähernd gleichem Masse verzögert.

Die besondere Konstruktion des Transformators ist ganz unwesentlich. In Fig. 96 z. B. ist der Kern A aus dünnen isolirten Eisenplatten oder Eisenscheiben aufgebaut. Der Primärkreis D ist zuerst auf den Kern A aufgewickelt. Ueber diesem ist der Schirm C angebracht, welcher in diesem Falle aus dünnen, passend isolirten und die Primärspule umgebenden Streifen oder Platten aus Eisen hergestellt ist und einen geschlossenen magnetischen Stromkreis bildet. Die Sekundärspule B ist über den Schirm C gewickelt. In Fig. 96 ist ferner E eine Quelle von Wechsel- oder rasch sich ändernden Strömen. Der Primärkreis des Transformators ist mit dem Stromkreis des Generators verbunden. F ist ein Wechselstrommotor mit doppeltem Stromkreise; der eine dieser Stromkreise ist mit dem von der Stromquelle E kommenden Hauptstromkreise verbunden, während der andere mit Strom aus dem Sekundärkreise des Transformators gespeist wird.

II. Abschnitt.

Erscheinungen bei Strömen von hoher Frequenz und hoher Spannung.

25. Kapitel.

Einleitung. — Inhalt der Tesla'schen Vorträge.

Das Studium der drei hier wiedergegebenen Tesla'schen Vorträge wird dem Leser leichter werden, wenn zuvor seine Aufmerksamkeit auf diejenigen Punkte hingelenkt wird, welche darin das grösste Interesse und die weittragendste Bedeutung haben. Der erste dieser Vorträge wurde am 20. Mai 1891 im Columbia College zu New York vor dem American Institute of Electrical Engineers gehalten. Der ihm aus allen Theilen Europas unmittelbar darauf geäusserte Wunsch, Gelegenheit zu haben, die glänzenden und ungewöhnlichen Versuche, von denen der Vortrag begleitet war, mit eigenen Augen sehen zu können, bestimmte Tesla im Frühjahr 1892 nach England zu gehen, wo er vor der Institution of Electrical Engineers und einen Tag später auf besondere Einladung vor der Royal Institution auftrat. Seine Aufnahme war bei beiden Gelegenheiten eine sehr begeisterte und schmeichelhafte. Einer Einladung folgend, ging er dann nach Frankreich und wiederholte seine neuen Demonstrationen vor der Société Internationale des Électriciens und der Société Française de Physique. Im Herbst 1892 kehrte Tesla nach Amerika zurück und hielt im Februar 1893 seinen dritten Vortrag vor dem Franklin Institute zu Philadelphia, womit er ein Prof. Houston lange vorher gegebenes Versprechen einlöste. In der darauf folgenden Woche wurde auf Ersuchen des Präsidenten der National Electric Light Association, Herrn James J. Ayer, derselbe Vortrag nochmals in St. Louis gehalten. Man beabsichtigte, die Einladungen hierzu auf die Mitglieder zu beschränken, doch gingen von den Bewohnern der Stadt so zahlreiche und dringende Gesuche um Zulassung zur Sitzung ein, dass einer der grössten Säle gemiethet werden musste. Daher kam es, dass der Vortrag von mehr als 5000 Zuhörern gehört wurde und in einigen Theilen populärer gehalten war als jeder der beiden vorhergehenden. Trotz dieses Zugeständnisses an die Bedürfnisse des Ortes und der Stunde trug Tesla kein Bedenken, viele neue und glänzende Versuche vorzuführen und die Grenze seiner Entdeckungen weit über jenen Punkt hinauszurücken, bis zu welchem seine vorherigen Veröffentlichungen reichten.

Wir können nun zu einer kurzen Uebersicht über die Vorträge selbst übergehen. Das von ihnen in Betracht gezogene Gebiet ist so ausgedehnt, dass nur die Hauptideen und -Versuche hier berührt werden können; überdies ist es besser, die Vorträge selbst sorgfältig durchzulesen, da höchst wahrscheinlich jeder Leser eine neue Schönheit und Anregung in ihnen entdecken wird. Verfolgt man den Gang der Beweisführung, den Tesla in seinem ersten Vortrage eingeschlagen hat, so wird man bemerken, dass er von der Erkenntniss der von ihm nunmehr experimentell bewiesenen Thatsache ausging, dass zur Erzeugung von Lichtwellen primär elektrostatische Wirkungen ins Spiel gebracht werden müssen, und fortgesetztes Studium führte ihn zu der Ansicht, dass alle elektrischen und magnetischen Wirkungen auf elektrostatische molekulare Kräfte zurückgeführt werden können. Diese Ansicht findet eine merkwürdige Bestätigung durch einen der überraschendsten Versuche, welche er beschreibt, nämlich durch die Erzeugung einer wirklichen Flamme durch die schnelle Bewegung elektrostatisch geladener Moleküle. Es ist von höchstem Interesse zu beobachten, dass dieses Resultat auf ein Verfahren, eine Flamme zu erhalten, hinweist, welche kein Material verzehrt und bei welcher keine chemische Wirkung irgend welcher Art Platz greift. Es wirft ebenfalls ein Licht auf die Natur der gewöhnlichen Flamme, von welcher Tesla glaubt, dass sie von elektrostatischen molekularen Wirkungen herrühre; wäre dem wirklich so, so würde dies direkt zu der Idee führen, dass auch chemische Verwandtschaften ihrer Natur nach elektrostatisch seien und dass, wie bereits vermuthet worden ist, molekulare Kräfte überhaupt auf eine und dieselbe Ursache zurückgeführt werden können. Diese merkwürdige Erscheinung erklärt in plausibler Weise die bisher unerklärte Thatsache, dass häufig Gebäude während eines Gewitters in Brand gesteckt werden, ohne überhaupt von einem Blitze getroffen zu sein; sie kann möglicher Weise auch das gänzliche Verschwinden von Schiffen auf dem Meere erklären.

Einer der überraschendsten Beweise der Richtigkeit der von Tesla vorgebrachten Ideen ist die Thatsache, dass trotz der Anwendung der kräftigsten elektromagnetischen Induktionswirkungen nur schwache Lichterscheinungen erhalten werden und dies nur in nächster Nähe der Strörungsquelle, während, wenn die elektrostatischen Wirkungen gehörig verstärkt werden, dieselbe anfängliche Energie ausreicht, um Lichterscheinungen in beträchtlichen Entfernungen von der Quelle zu erregen. Dass nur elektrostatische Wirkungen im Spiele sind, scheint durch Tesla's Versuche mit einer Induktionsspule, die mit Wechselströmen

von sehr hoher Frequenz betrieben wird, klar erwiesen zu sein. Er zeigt, wie Röhren in erheblichen Abständen von irgend einem Gegenstande zu hellem Glühen gebracht werden können, wenn sie in ein kräftiges rasch wechselndes elektrostatisches Feld gesetzt werden, und er beschreibt viele interessante Erscheinungen, die er in einem solchen Felde beobachtet hat. Seine Versuche eröffnen die Möglichkeit, ein Zimmer durch einfache Erzeugung eines solchen elektrostatischen Feldes in demselben zu beleuchten, und dies würde offenbar in gewisser Beziehung die ideale Methode der Beleuchtung eines Zimmers sein, da sie gestatten würde, den Beleuchtungskörper frei umherzubewegen. Die Stärke, mit welcher diese von jeder Elektrode freien luftleeren Röhren leuchten, ist sicher bemerkenswerth.

Dass das von Tesla vertheidigte Princip ein sehr umfassendes ist, geht aus den vielen Arten seiner praktischen Anwendungen hervor. Wir brauchen nur auf die Mannigfaltigkeit der dargestellten und beschriebenen Vorrichtungen zu verweisen, die sämmtlich neuen Charakters sind und ohne Zweifel unter den Händen Tesla's und anderer Forscher zu weiteren wichtigen Resultaten führen werden. Der Versuch z. B., einen einzigen Kohlenfaden oder Block aus feuerbeständigem Material mittels eines einzigen Drahtes zum Leuchten zu bringen, ist an sich genügend, den Tesla'schen Arbeiten den Stempel der Originalität aufzudrücken, und die zahlreichen andern Versuche und Erscheinungen, welche nach Belieben variirt werden können, sind in gleicher Weise neu und interessant. Z. B. werden der in einer evakuirten Kugel sich rasch im Kreise herumbewegende Glühfaden, das bekannte Crookes'sche Experiment bei offenem Stromkreise und die vielen andern angedeuteten Versuche nicht verfehlen, den Leser zu interessiren. Tesla hat die verschiedenen Formen der Entladung, welche bei einer mit jenen rapid wechselnden Strömen betriebenen Induktionsspule vorkommen, einer erschöpfenden Untersuchung unterworfen, indem er von der fadenförmigen Entladung ausging und durch verschiedene Stadien hindurch bis zur wirklichen elektrischen Flamme gelangte.

Ein Punkt von grosser Wichtigkeit bei der Einführung hochgespannten Wechselstromes, auf welchen Tesla hinweist, ist die Nothwendigkeit, bei den Apparaten für hohe Spannung jede gasförmige Materie zu vermeiden. Er zeigt, dass wenigstens bei rasch wechselnden Strömen hoher Spannung die Entladung bei Vorhandensein von Luft selbst durch die besten Isolatoren bei jeder praktisch möglichen Dicke derselben hindurchschlagen kann. In solchen Fällen wird die in dem Apparate eingeschlossene Luft in heftige Bewegung versetzt und durch das Bom-

bardement der Moleküle können die einzelnen Theile so stark erhitzt werden, dass sie einen Bruch der Isolation veranlassen. Das praktische Ergebniss hiervon ist, dass, während bei konstanten Strömen jede Art Isolation angewendet werden kann, bei rasch wechselnden Strömen wahrscheinlich Oele am besten anzuwenden sind, eine Thatsache, die zwar bereits beobachtet, aber bis jetzt nicht befriedigend erklärt worden war. Die Erkenntniss der erwähnten Thatsache ist von besonderer Wichtigkeit bei der Konstruktion kostspieliger käuflicher Induktionsspulen, welche oft auf unerklärliche Weise unbrauchbar werden. Die Richigkeit dieser Ansichten Tesla's erhellt aus den interessanten Versuchen zur Erläuterung des Verhaltens der Luft zwischen geladenen Flächen, indem die durch die geladenen Moleküle gebildeten Lichtbüschel auch auftreten, wenn sehr gute Isolatoren von erheblicher Dicke zwischen die geladenen Flächen gebracht werden. Diese Lichtbüschel bilden an sich den Gegenstand eines sehr interessanten Studiums für den Experimentator. Bei Anwendung solcher rasch wechselnden Ströme werden sie weit mächtiger und erzeugen prächtige Lichteffekte, wenn sie von einem Drahte, einem Nadelrade oder einem andern Gegenstande ausgehen, der an dem einen Pole der Spule befestigt ist; und es ist interessant zu bemerken, dass sie von einer Kugel fast ebenso leicht ausgehen, wie von einer Spitze, falls die Frequenz hoch genug ist.

Aus diesen Versuchen erhalten wir auch eine bessere Vorstellung von der Wichtigkeit der Berücksichtigung der Kapacität und Selbstinduktion bei den benutzten Apparaten sowie von den durch Benutzung von Kondensatoren in Verbindung mit Wechselströmen gebotenen Möglichkeiten, da die Verwendung von Strömen hoher Frequenz es unter anderm ermöglicht, den Kondensator auf praktische Dimensionen zu reduciren. Ein anderer Punkt von Interesse und praktischer Bedeutung ist die von Tesla bewiesene Thatsache, dass für Wechselströme, besonders solche von hoher Frequenz, Isolatoren mit geringer specifischer Induktionskapacität, die zugleich ein hohes Isolationsvermögen besitzen, erforderlich sind.

Tesla giebt auch interessante und werthvolle Andeutungen bezüglich der ökonomischen Verwerthung von Eisen in Maschinen und Transformatoren. Er zeigt, wie durch Unterhaltung eines Kraftlinienflusses durch das Eisen mittels kontinuirlicher Magnetisirung das Eisen nahe auf seiner maximalen Permeabilität gehalten und eine höhere Leistung und Oekonomie bei solchen Apparaten erzielt werden kann. Dieses Princip dürfte sich von beträchtlicher kommercieller Wichtigkeit bei der Entwickelung von Wechselstromsystemen erweisen. Tesla's Andeutung,

dass das nämliche Resultat auch durch Erwärmung des Eisens mittels Hysteresis und Wirbelströmen und durch die hierdurch hervorgebrachte Erhöhung der Permeabilität erreicht werden könne, eröffnet, trotzdem dieses Verfahren weniger praktisch zu sein scheint, gleichwohl der Untersuchung und Verbesserung neue Bahnen.

Der Beweis der Thatsache, dass bei Wechselströmen von hoher Frequenz eine hinreichende Energie unter praktischen Bedingungen durch das Glas einer Glühlampe hindurch mittels elektrostatischer oder elektromagnetischer Induktion übertragen werden kann, dürfte zu einem neuen Ausgangspunkte bei der Konstruktion solcher Apparate führen. Ein anderes wichtiges experimentell festgestelltes Resultat ist der Betrieb von Glühlampen und selbst von Motoren mittels der Entladungen von Kondensatoren, und diese Methode bietet ein Mittel dar, um Gleich- oder Wechselströme umzuwandeln. In diesem Zusammenhange empfiehlt Tesla die Vervollkommnung der Apparate, welche Elektricität von hoher Spannung aus Wärmeenergie zu erzeugen vermögen, indem er der Ansicht ist, dass dies ein besseres Verfahren sei, um elektrische Energie für praktische Zwecke, insbesondere zur Erzeugung von Licht, zu erhalten.

Während wahrscheinlich viele erwartet hatten, bei der Benutzung eines disruptiv entladenen Kondensators merkwürdigen Impedanzerscheinungen zu begegnen, waren die vorgeführten Versuche ausserordentlich interessant wegen ihres paradoxen Charakters. Das Brennen einer Glühlampe mit irgendwelcher Kerzenstärke, welche quer zu einem gebogenen dicken Metallstabe angebracht war, das Vorhandensein von Knoten an dem Stabe und die Möglichkeit, den Stab mittels eines gewöhnlichen Cardew-Voltmeters zu untersuchen, sind alles höchst eigenthümliche Resultate, vielleicht die interessanteste Beobachtung ist aber jene Impedanzerscheinung, welche bei einer Lampe mit geradem Glühfaden beobachtet wurde, nämlich dass letzterer dunkel bleibt, während die Glasbirne glüht.

Die Tesla'sche Art, eine Induktionsspule mittels der disruptiven Entladung zu betreiben und auf diese Weise enorme Potentialdifferenzen mit verhältnissmässig kleinen und billigen Spulen zu erhalten, wird gewiss von Experimentatoren richtig gewürdigt werden und in Laboratorien werthvolle Anwendung finden. In der That werden seine vielen Andeutungen und Winke bezüglich der Konstruktion und des Gebrauches der Apparate bei solchen Untersuchungen sehr werthvoll und bei zukünftigen Arbeiten eine wesentliche Hülfe sein.

Der Londoner Vortrag wurde zweimal gehalten. In seiner ersten Form vor der Institution of Electrical Engineers war er in manchen

Beziehungen eine Erweiterung verschiedener in dem New Yorker Vortrage nicht ausführlich erörterten Punkte, er enthielt jedoch auch viele weiteren Entdeckungen und neue Untersuchungen. Seine Wiederholung in anderer Form vor der Royal Institution geschah auf Veranlassung von Prof. Dewar, welcher mit Lord Rayleigh ein sehr lebhaftes Interesse an Tesla's Arbeiten bekundete und dessen Freundlichkeit wieder einmal die grosse Liebe der Engländer zu wissenschaftlicher Forschung und die Werthschätzung ihrer Jünger deutlich zeigte. Als unermüdlicher Experimentator war Tesla sicher nirgends mehr zu Hause als an der ehemaligen Wirkungsstätte Faraday's und als Gast von Faraday's Nachfolger. In diesem Vortrage vor der Royal Institution wurden die Hauptpunkte der Tesla'schen Arbeiten auf dem Gebiete hoher Spannung und hoher Frequenz kurz zusammengestellt, und diese werthvolle summarische Zusammenstellung eines keineswegs leicht zu verstehenden Gegenstandes können wir uns hier zu Nutze machen.

Bei diesen Londoner Vorträgen war der erste der vielen bemerkenswerthen Punkte, auf welche hingewiesen wurde, die Schwierigkeit, Wechselstrommaschinen zu bauen, welche die erforderlichen Frequenzen liefern. Um diese hohen Frequenzen zu erhalten, mussten mehrere hundert Polvorsprünge vorgesehen werden, welche nothwendig klein waren und viele Unannehmlichkeiten darboten und zwar um so mehr, als man ausserordentlich hohe Umfangsgeschwindigkeiten zu Hülfe nehmen musste. Bei einigen der ersten Maschinen hatte sowohl der Anker wie das Feld polare Vorsprünge. Diese Maschinen verursachten ein seltsames Geräusch, besonders wenn der Anker aus dem Zustande der Ruhe anging, während das Feld geladen war. Als wirksamste Maschine erwies sich eine mit Trommelanker, dessen Eisenkörper aus sehr dünnem, mit besonderer Sorgfalt ausgeglühtem Draht bestand. Es war natürlich erwünscht, die Anwendung von Eisen im Anker zu vermeiden, und es wurden verschiedene Maschinen dieser Art mit stationären oder beweglichen Leitern gebaut, indessen waren die erhaltenen Resultate nicht ganz zufriedenstellend wegen der grossen dabei zu Tage tretenden mechanischen und anderen Schwierigkeiten.

Das Studium der Eigenschaften der von solchen Maschinen erzeugten Ströme von hoher Frequenz ist sehr interessant, da beinahe jeder Versuch etwas Neues offenbart. Zwei von einem solchen Strome durchflossene Spulen ziehen einander an oder stossen einander ab mit einer Kraft, welche infolge der Unvollkommenheit unseres Gefühlssinnes kontinuirlich zu sein scheint. Eine interessante Beobachtung, die allerdings schon früher unter anderer Form gemacht wurde, ist die, dass ein

Eisenstück, welches von einer vom Strome durchflossenen Spule umgeben ist, kontinuirlich magnetisirt zu werden scheint. Diese scheinbare Kontinuität könnte der Unvollkommenheit unseres Gefühls zugeschrieben werden, indessen hat man Beweise dafür, dass bei Strömen von so hohen Frequenzen einer der Stromimpulse den anderen überwiegt.

Wie zu erwarten ist, werden von solchen Strömen durchflossene Leiter wegen der Zunahme des Widerstandes rasch erhitzt und im Eisen sind die Wärmewirkungen verhältnissmässig viel grösser. Die Hysteresisverluste im Eisen sind so gross, dass ein, selbst fein untertheilter Eisenkern in unglaublich kurzer Zeit erhitzt wird. Um eine Vorstellung hiervon zu geben, sei bemerkt, dass ein ca. 1,5 mm starker, in eine Spule von 250 Windungen hineingesteckter Eisenkern bei einem durch die Spule gehenden Strome von etwa 5 Ampère innerhalb zwei Sekunden so heiss wird, dass er Holz versengt. Jenseits einer bestimmten Frequenz übt ein Eisenkern, mag er noch so sehr untertheilt sein, eine dämpfende Wirkung aus, und man konnte leicht einen Punkt finden, bei welchem der scheinbare Widerstand der Spule durch die Gegenwart eines aus einem Bündel sehr dünner gut ausgeglühter und mit Firniss überzogener Eisendrähte bestehenden Eisenkernes nicht beeinflusst wurde.

Versuche mit einem Telephon, einem Leiter in einem starken magnetischen Felde oder mit einem Kondensator oder Lichtbogen scheinen zu beweisen, dass Töne, wenn mit genügender Stärke erzeugt, weit über die gewöhnlich angenommene Grenze der Hörbarkeit wahrgenommen werden können. Der von solchen Strömen erzeugte Lichtbogen besitzt manche interessante Eigenthümlichkeiten. Gewöhnlich sendet er einen Ton aus, dessen Höhe der doppelten Frequenz des Stromes entspricht; wird aber die Frequenz hinreichend hoch, so wird er geräuschlos, wobei die Grenze der Hörbarkeit hauptsächlich durch die linearen Dimensionen des Bogens bestimmt wird. Eine merkwürdige Eigenschaft des Bogens ist seine Beständigkeit, welche theilweise davon herrührt, dass die Gassäule nicht im Stande ist sich abzukühlen und dadurch ihren Widerstand erheblich zu vergrössern, wie es bei niedrigen Frequenzen der Fall ist, und theilweise dem Umstande zuzuschreiben ist, dass eine solche Maschine für hohe Frequenz einen konstanten Strom zu unterhalten sucht.

In Verbindung mit diesen Maschinen bildet der Kondensator den Gegenstand eines besonders interessanten Studiums. Durch zweckmässige Regulirung der Kapacität und Selbstinduktion können überraschende Wirkungen hervorgebracht werden. Man kann leicht die elektromotorische Kraft der Maschine durch einfache Regulirung der Kapa-

cität eines in den inducirten Stromkreis eingeschalteten Kondensators auf ein Vielfaches ihres ursprünglichen Werthes steigern. Befindet sich der Kondensator in einiger Entfernung von der Maschine, so kann der Spannungsunterschied an den Klemmen der letzteren nur ein kleiner Bruchtheil desjenigen am Kondensator sein.

Die interessantesten Erfahrungen aber macht man, wenn die Spannung der von der Maschine gelieferten Ströme mittels einer Induktionsspule erhöht wird. Infolge der enormen Aenderungen, welche im primären Strome erreichbar sind, werden weit höhere Spannungsdifferenzen erhalten als mit Spulen, die in der gewöhnlichen Weise betrieben werden, und infolge der hohen Frequenz besitzt die sekundäre Entladung viele überraschende Eigenthümlichkeiten. Beide Elektroden verhalten sich im Allgemeinen in gleicher Weise, obwohl aus einigen Beobachtungen hervorgeht, dass der eine Stromimpuls, wie oben erwähnt, den andern überwiegt.

Die physiologischen Wirkungen der Hochspannungsentladung erweisen sich als so gering, dass der Schlag der Spule ohne jede Unannehmlichkeit ertragen werden kann, abgesehen vielleicht von einem durch die Entladung verursachten geringfügigen Verbrennen, wenn man die Hand einer der Klemmen nähert. Die entschieden geringeren physiologischen Wirkungen dieser Ströme haben nach Tesla's Ansicht ihren Grund entweder in einer verschiedenen Vertheilung durch den Körper oder darin, dass die Gewebe wie Kondensatoren wirken. Im Falle einer Induktionsspule mit sehr vielen Windungen jedoch rührt die Harmlosigkeit der Enladung hauptsächlich von dem Umstande her, dass in dem äusseren Stromkreise, wenn derselbe durch den Körper des Experimentators geschlossen ist, wegen des grossen scheinbaren Widerstandes der Spule die nutzbare Energie nur gering ist.

Durch Variirung der Frequenz und Stärke der durch den Primärkreis der Spule fliessenden Ströme lässt sich der Charakter der sekundären Entladung stark verändern und es können nicht weniger als fünf verschiedene Formen beobachtet werden: Eine schwache empfindliche fadenförmige Entladung, eine kräftige flammenartige Entladung und drei Formen von pinselartigen oder Büschelentladungen. Jede von diesen besitzt gewisse bemerkenswerthe Eigenthümlichkeiten, aber das Studium der letzteren ist am interessantesten.

Unter gewissen Bedingungen gehen die Lichtströme, welche vermuthlich von der heftigen Hinundherbewegung der Luftmoleküle herrühren, frei von allen Punkten der Spule aus und zwar selbst durch eine dicke Isolation hindurch. Wenn der geringste Luftzwischenraum zwischen

der primären und sekundären Wickelung besteht, so werden sich Lichtbüschel daselbst bilden und die Spule durch allmähliche Erwärmung der Isolation beschädigen. Da sie auch bei gewöhnlichen Frequenzen entstehen, wenn die Spannung ausserordentlich hoch ist, so muss der Luftraum sorgfältig vermieden werden. Diese Lichtströme bei hoher Frequenz unterscheiden sich im Aussehen und in ihren Eigenschaften von den durch eine statische Maschine hervorgebrachten. Der von ihnen erzeugte Wind ist gering und würde ganz und gar aufhören, wenn noch beträchtlich höhere Frequenzen erreicht werden könnten. Eine Besonderheit ist die, dass sie ebenso leicht von Flächen wie von Spitzen ausströmen. Infolge dessen wird ein Metallflügel, der frei drehbar auf einem der Pole der Spule angebracht ist und der auf einer seiner beiden Seiten mit Isolationsmaterial bedeckt ist, rasch herumgedreht. Ein solcher Flügel würde bei einer gleichbleibenden Spannung nicht rotiren, bei einer Spule für hohe Frequenz aber wird er sich drehen, auch wenn er ganz und gar mit Isolationsmaterial bedeckt ist, vorausgesetzt, dass die Isolation auf der einen Seite entweder dicker ist oder eine höhere specifische Induktionskapacität besitzt. Ein Crookes'sches elektrisches Radiometer dreht sich ebenfalls herum, wenn es mit einem der Pole der Spule verbunden ist, aber nur bei sehr starker Evakuirung oder bei gewöhnlichen Luftdrucken.

Es giebt noch eine andere und auffälligere Eigenthümlichkeit einer solchen Büschelentladung bei hoher Frequenz, nämlich die, dass sie heiss ist. Die Hitze ist bei Frequenzen von etwa 10000 leicht wahrnehmbar, auch wenn die Spannung nicht ausserordentlich hoch ist. Die Wärmewirkung rührt natürlich von den molekularen Stössen und Kollisionen her. Könnten die Frequenz und die Spannung weit genug gesteigert werden, so könnte ein Lichtbüschel erzeugt werden, welches in jeder Beziehung einer Flamme gliche und Licht und Wärme gäbe, ohne dass jedoch chemische Processe stattfänden.

Das glühende Büschel gleicht, wenn in geeigneter Weise hervorgebracht, einer unter grossem Drucke brennenden Gasflamme und sendet einen ausserordentlich starken Ozongeruch aus. Die grosse ozonisirende Wirkung ist dem Umstande zuzuschreiben, dass die Bewegung der Luftmoleküle in einem solchen Büschel heftiger ist als in dem gewöhnlichen Büschel einer statischen Maschine. Die mächtigsten Büschelentladungen aber wurden hervorgebracht mit Strömen von viel höheren Frequenzen, als man mit Hülfe der Wechselstrommaschinen zu erreichen vermochte. Diese Ströme wurden durch disruptive Entladung eines Kondensators und Erzeugung von Oscillationen hervorgebracht. Auf diese Weise wur-

den Ströme von einer Frequenz von einigen Hunderttausend Wechseln erhalten.

Ströme dieser Art erzeugen, wie Tesla darlegte, überraschende Effekte. Bei solchen Frequenzen ist der scheinbare Widerstand einer Kupferstange so gross, dass eine Potentialdifferenz von mehreren Hundert Volt zwischen zwei Punkten einer kurzen dicken Stange erhalten werden kann und es möglich ist, eine gewöhnliche Glühlampe bei voller Kerzenstärke zu brennen, indem man die Klemmen der Lampe mit zwei nicht mehr als einige Centimeter von einander abstehenden Punkten der Stange verbindet. Wenn die Frequenz ausserordentlich hoch ist, so ergeben sich Knoten an einer solchen Stange und es ist leicht, den Ort derselben mit Hülfe einer Lampe zu bestimmen.

Durch eine solche Umwandlung der Hochspannungsentladungen einer Spule für niedrige Frequenz war es möglich, einige Lampen in dem gewöhnlichen Stromkreise im Laboratorium zu brennen, und indem man die Undulation auf ein niedriges Maass reducirte, vermochte man kleine Motoren zu betreiben.

Diese Methode gestattet auch die Umwandlung hochgespannter Entladungen einer Richtung in gleichgerichtete Ströme von niedriger Spannung, indem man den Stromkreis so adjustirt, dass keine Oscillationen stattfinden. Schickt man die oscillirenden Entladungen durch die primäre Wickelung einer besonders konstruirten Spule, so kann man leicht enorme Potentialdifferenzen mit nur wenig Windungen der sekundären Wickelung erhalten.

Bei der Herstellung einer brauchbaren Spule nach diesem Systeme begegnete Tesla zunächst grossen Schwierigkeiten. Es erwies sich als nothwendig, alle Luft oder überhaupt gasförmige Materie von den geladenen Flächen fernzuhalten, und man musste zur Oelisolation seine Zuflucht nehmen. Die benutzten Drähte wurden mit einer starken Schicht Guttapercha überzogen und in Oel gewickelt, oder die Luft wurde mittels einer Sprengel'schen Pumpe ausgepumpt. Die allgemeine Anordnung war die folgende: Eine gewöhnliche von einer Wechselstrommaschine niedriger Frequenz bethätigte Induktionsspule wurde zur Ladung von Leydener Flaschen benutzt. Die Flaschen entluden über eine einzige oder über mehrere Luftstrecken durch den Primärkreis der zweiten Spule hindurch. Um die Wirkung der Luftstrecke zu sichern, wurde der Lichtbogen durch einen Magnet oder ein Luftgebläse ausgeblasen. Um die Spannung in dem sekundären Kreise zu reguliren, wurde ein kleiner Oelkondensator benutzt oder es wurden polirte Messingkugeln von verschiedenen Grössen auf die Pole aufgeschraubt und ihr Abstand regulirt.

Wenn die Verhältnisse jedem Versuche entsprechend sorgfältig regulirt waren, wurden prächtige Wirkungen erzielt. Zwei durch das Zimmer ausgespannte Drähte, von denen jeder mit einem der Pole der Spule verbunden war, sandten so kräftige Lichtbüschel aus, dass man bei dem von ihnen erzeugten Lichte die Gegenstände in dem Zimmer unterscheiden konnte; die Drähte wurden leuchtend, selbst wenn dieselben mit dicker und ausgezeichneter Isolation bedeckt waren. Wenn zwei gerade Drähte oder zwei koncentrische Drahtkreise mit den Polen verbunden und in die geeignete Entfernung von einander gebracht waren, so wurde zwischen ihnen eine gleichmässig leuchtende Fläche erzeugt. Es war auf diese Weise möglich, eine Fläche von mehr als einem Quadratmeter Inhalt vollständig mit Lichtströmungen zu bedecken. Indem man an dem einen Pole einen grossen Drahtkreis und an dem anderen Pole eine kleine Kugel befestigte, wurden die Ströme nach der Kugel hin gerichtet, erzeugten einen hell leuchtenden Fleck auf der Kugel und boten den Anblick eines leuchtenden Kegels dar. Ein sehr dünner Draht, der auf eine sehr dicke Hartgummiplatte aufgeklebt war, auf deren Rückseite eine Stanniolbelegung befestigt war, wurde intensiv leuchtend, wenn die Belegung mit dem andern Pole der Spule verbunden wurde. Ein solcher Versuch lässt sich auch mit Strömen niedriger Frequenz ausführen, aber mit weit geringerem Erfolge.

Werden die Pole einer solchen Spule, mag dieselbe auch sehr klein sein, durch eine Gummi- oder Glasplatte getrennt, so breitet sich die Entladung über die Platte in der Form von Büscheln, Fäden oder hellen Funken aus und bietet ein prachtvolles Schauspiel, welches nicht durch die grösste in der gewöhnlichen Weise betriebene Spule hervorgebracht werden könnte. Durch eine einfache Regulirung ist es möglich, mit der Spule eine Reihe glänzender Funken, genau so wie mit einer Holtz'schen Maschine hervorzubringen.

Unter gewissen Bedingungen sieht man, wenn die Frequenz der Oscillation sehr gross ist, weisse, gespensterhafte Lichtströme aus den Polen der Spule hervorbrechen. Die besonders interessante Eigenthümlichkeit derselben ist, dass sie frei gegen die ausgestreckte Hand oder einen andern leitenden Gegenstand hinströmen, ohne irgend welche Empfindung hervorzurufen, und die Hand kann dem Pole sehr weit genähert werden, ohne dass ein Funken überspringt. Dies hat vermuthlich darin seinen Grund, dass ein erheblicher Theil der Energie in den Büscheln mit fortgeführt oder zerstreut und die Potentialdifferenz zwischen dem Pole und der Hand vermindert wird.

Es zeigt sich bei derartigen Versuchen, dass die Frequenz der Schwingung und die Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der Funken zwischen den Knöpfen in bemerkenswerthem Grade das Aussehen der Lichtströme beeinflusst. Wenn die Frequenz sehr gering ist, giebt die Luft in mehr oder weniger gleicher Weise nach, wie bei einer konstanten Potentialdifferenz, und die Strömungen bestehen aus deutlich unterscheidbaren Fäden, im Allgemeinen untermischt mit kleinen Funken, welche wahrscheinlich den auf einander folgenden Entladungen zwischen den Knöpfen entsprechen. Wenn aber die Frequenz sehr hoch ist und der Entladungsbogen einen lauten und gleichmässigen Ton hervorbringt (was sowohl darauf hinweist, dass eine Oscillation stattfindet, als auch darauf, dass die Funken einander mit grosser Schnelligkeit folgen), so sind die gebildeten Lichtströme vollkommen homogen. Dieselben sind im Allgemeinen von purpurner Farbe, sie nehmen aber eine weisse Farbe an, wenn die molekularen Schwingungen durch Erhöhung der Spannung verstärkt werden.

Die Lichtintensität der Büschel wächst rasch, wenn die Spannung steigt; und bei Frequenzen von nur wenigen Hunderttausend würde, wenn die Spule einer genügend hohen Spannungsdifferenz zu widerstehen vermöchte, der Raum um den Draht zweifellos ein starkes Licht aussenden können, und zwar nur infolge der heftigen Bewegung der Luftmoleküle bei gewöhnlichem Drucke.

Derartige Entladungen von sehr hoher Frequenz, welche die Luft bei gewöhnlichem Drucke leuchtend machen, können wir höchstwahrscheinlich in den Nordlichtern beobachten. Nach vielen dieser Versuche ist man berechtigt zu schliessen, dass plötzliche kosmische Störungen, wie z. B. die Eruptionen der Sonne, die elektrostatische Ladung der Erde in eine ausserordentlich schnelle Schwingung versetzen und durch die heftige Bewegung der Luft in den oberen und selbst in den niederen Luftschichten das Glühen hervorbringen. Man glaubt, dass, wenn die Frequenz gering wäre, oder noch mehr, wenn die Ladung überhaupt nicht in schwingenden Zustand käme, die unteren dichten Luftschichten wie bei einer Blitzentladung durchschlagen würden. Anzeichen eines solchen Durchschlagenwerdens sind wiederholt beobachtet worden, doch können sie den Fundamentalstörungen, deren Anzahl gering ist, zugeschrieben werden, da die darüber gelagerten Schwingungen so rasch erfolgen würden, dass sie ein disruptives Durchschlagen nicht gestatten.

Das Studium dieser Entladungserscheinungen hat Tesla zur Erkenntniss einiger wichtigen Thatsachen geführt. Er fand, wie bereits erwähnt, dass gasförmige Materie von jedem Dielektrikum, welches

grossen rasch wechselnden elektrostatischen Spannungen ausgesetzt ist, auf das sorgfältigste ferngehalten werden muss. Da es schwierig ist, das Gas vollkommen auszuschliessen, wenn feste Isolatoren benutzt werden, ist es nothwendig, zu flüssigen Dielektriken seine Zuflucht zu nehmen. Wird ein festes Dielektrikum benutzt, so macht es wenig aus, wie dick und wie gut es ist; ist Luft vorhanden, so bilden sich Büschel, welche allmählich das Dielektrikum erwärmen und seine Isolationsfähigkeit schwächen, und die Entladung schlägt schliesslich durch. Unter gewöhnlichen Verhältnissen sind die besten Isolatoren diejenigen, welche die höchste specifische Induktionskapacität besitzen, aber solche Isolatoren sind nicht die besten, wenn man mit solchen Strömen von hoher Frequenz arbeitet, da in den meisten Fällen die höhere specifische Induktionskapacität eher ein Nachtheil ist. Die Haupteigenschaft des isolirenden Mediums für solche Ströme ist seine Kontinuität. Aus diesem Grunde hauptsächlich muss man flüssige Isolatoren, wie z. B. Oele, anwenden. Wenn zwei mit den Polen der Spule verbundene Metallplatten in Oel getaucht und in einer gewissen Entfernung von einander aufgestellt werden, so kann die Spule eine beliebig lange Zeit in Wirksamkeit bleiben, ohne dass ein Durchschlagen stattfindet oder ohne dass das Oel erwärmt wird; wenn aber Luftblasen eingeführt werden, so werden sie leuchtend; die Luftmoleküle erwärmen das Oel infolge ihres Anprallens gegen dasselbe und nach einiger Zeit bewirken sie, dass die Isolation nachgiebt. Wenn an Stelle des Oeles eine Platte des besten festen Dielektrikums, selbst wenn dieselbe mehrere Male dicker ist als die zwischen den Metallplatten befindliche Oelschicht, zwischen die Metallplatten gebracht wird, so wird das Dielektrikum, da die Luft freien Zutritt zu den geladenen Flächen hat, unter allen Umständen erwärmt und durchschlagen.

Die Anwendung von Oel ist auch bei niedrigen Frequenzen zweckmässig oder nothwendig, wenn die Spannungen so hoch sind, dass sich Lichtbüschel bilden, aber nur in solchen Fällen, wie sich aus der Theorie der Wirkung ergiebt. Sind die Spannungen so niedrig, dass sich keine Lichtbüschel bilden, dann ist es sogar nachtheilig, Oel zu verwenden, da dasselbe, hauptsächlich durch Verhinderung der Ausbreitung der Wärme, die Ursache für das Durchbrennen der Isolation werden kann.

Die Ausschliessung gasförmiger Materie ist nicht nur mit Rücksicht auf die Sicherheit der Apparate, sondern auch mit Rücksicht auf die Oekonomie wünschenswerth, besonders bei einem Kondensator, bei welchem infolge des Vorhandenseins von Luft eine beträchtliche Energieverschwendung stattfinden kann, wenn die elektrische Dichtigkeit auf den geladenen Oberflächen gross ist.

Im Verlaufe dieser Untersuchungen wurde eine Erscheinung von besonderem wissenschaftlichen Interesse beobachtet. Dieselbe kann unter die bürsten- oder pinselartigen Erscheinungen einrangirt werden; in der That ist es eine Art Pinsel, der sich an einem einzigen Pole oder in der Nähe desselben im hohen Vakuum bildet. In einer Lampenbirne mit einer leitenden Elektrode, auch wenn die letztere aus Aluminium besteht, hat das Büschel nur eine sehr kurze Dauer, in einer Glasbirne aber, welche gar keine Elektrode aus leitendem Materiale enthält, kann dasselbe eine beträchtliche Zeit hindurch erhalten werden. Um die Erscheinung beobachten zu können, verwendet man am besten eine grosse kugelförmige Lampenbirne, in deren Mitte sich eine kleine Birne befindet, die von einer an der Fassung der ersteren angeschmolzenen Röhre getragen wird. Ist die grosse Kugel stark evakuirt und die kleine Birne mit einem der Pole der Spule verbunden, so erscheint unter gewissen Unständen ein dichter Nebel um die kleine Birne, welcher nach Durchlaufen einiger Zwischenstadien die Form eines Pinsels annimmt, der senkrecht steht zu der die kleine Birne tragenden Röhre. Hat das Büschel diese Form angenommen, so kann es in einen Zustand ausserordentlicher Empfindlichkeit gegen elektrostatische und magnetische Einflüsse gebracht werden. Wenn die Birne gerade herunterhängt und alle Gegenstände von ihr entfernt worden sind, so wird die Annäherung des Beobachters auf einige Schritte zur Folge haben, dass das Büschel nach der entgegengesetzten Seite fliegt, und wenn der Beobachter um die Birne herumgeht, so richtet sich das Büschel stets nach der entgegengesetzten Seite. Dasselbe kann anfangen sich um den Pol herum zu bewegen, lange bevor es jenen empfindlichen Zustand erreicht. Besonders, wenn es sich zu drehen beginnt, aber auch schon vorher, wird dasselbe durch einen Magneten beeinflusst und in einem gewissen Stadium ist es gegen magnetische Influenz in erstaunlichem Maasse empfindlich. Ein kleiner permanenter Magnet, dessen Pole nicht mehr als zwei Centimeter Abstand von einander haben, wird das Lichtbüschel bis auf eine Entfernung von zwei Metern deutlich beeinflussen und zwar die Rotation desselben entweder verlangsamen oder beschleunigen je nach der relativen Stellung, in welcher der Magnet gegen das Büschel gehalten wird.

Hängt die Birne nebst der Kugel nach unten, so geschieht die Drehung stets in der Richtung des Uhrzeigers. Auf der südlichen Halbkugel würde dieselbe in der entgegengesetzten Richtung stattfinden und am magnetischen Aequator würde sich das Büschel überhaupt nicht drehen. Die Rotation kann durch einen in gewisser Entfernung gehaltenen Magnet umgekehrt werden. Das Büschel rotirt anscheinend am besten,

wenn dasselbe rechtwinklig zu den Kraftlinien der Erde steht. Es rotirt höchst wahrscheinlich, bei seiner maximalen Geschwindigkeit, synchron mit den Wechseln etwa 10 000 mal in der Sekunde. Die Rotation kann durch Annäherung oder Entfernung des Beobachters oder irgend eines leitenden Körpers verlangsamt oder beschleunigt werden, aber sie kann nicht dadurch umgekehrt werden, dass man die Lampenbirne in irgend welche Lage bringt. Sehr merkwürdige Versuche können mit dem Büschel im Stadium seiner grössten Empfindlichkeit angestellt werden. Z. B. kann der Experimentator, während das Büschel in einer Lage bleibt, nach Wahl einer passenden Stellung die Hand bis auf einen gewissen beträchtlichen Abstand der Birne nähern und durch blosse Anspannung der Armmuskeln eine Bewegung des Büschels veranlassen, indem die blosse Aenderung der Konfiguration des Armes und die dadurch erzeugte kaum wahrnehmbare Verschiebung hinreicht, um das Gleichgewicht zu stören. Wenn das Büschel langsam zu rotiren beginnt und die Hände in passender Entfernung gehalten werden, so kann man nicht die geringste Bewegung machen, ohne eine sichtbare Wirkung auf dasselbe hervorzubringen. Eine mit dem andern Pole der Spule verbundene Metallplatte beeinflusst das Büschel schon in grosser Entfernung und verlangsamt die Rotation desselben oft bis auf einen Umlauf in der Sekunde.

Tesla hofft, dass diese Erscheinung sich als werthvolle Hülfe bei der Untersuchung der Natur der in einem elektrostatischen oder magnetischen Felde wirkenden Kräfte erweisen wird. Wenn in dem Weltenraume irgend eine messbare Bewegung vor sich geht, so würde ein solches Lichtbüschel geeignet sein, sie zu offenbaren. Es ist so zu sagen ein Lichtstrahl, der reibungslos und ohne Trägheit ist. Mit Rücksicht auf seine wunderbare Empfindlichkeit gegen elektrostatische oder magnetische Störungen kann es möglicher Weise ein Mittel sein, um Signale mit jeder beliebigen Geschwindigkeit durch submarine Kabel zu senden oder selbst einen Gedankenaustausch ohne Drähte auf Entfernungen hin zu ermöglichen.

Bei dem Betriebe einer Induktionsspule mit solchen rasch wechselnden Strömen überrascht einen auf den ersten Blick die grosse Wichtigkeit der Beziehung zwischen Kapacität, Selbstinduktion und Frequenz für das allgemeine Resultat. Die vereinigte Wirkung dieser Elemente bringt viele merkwürdige Erscheinungen hervor. Beispielsweise werden zwei Metallplatten mit den Polen verbunden und in einer geringen Entfernung von einander aufgestellt, so dass ein Lichtbogen zwischen ihnen gebildet wird. Dieser Bogen verhindert, dass ein starker Strom durch die Spule fliesst. Wird der Lichtbogen durch Zwischenstellung einer

Glasplatte unterbrochen, so wirkt die Kapacität des so erhaltenen Kondensators der Selbstinduktion entgegen und es kann ein stärkerer Strom durch die Spule gesandt werden. Die Wirkungen der Kapacität sind am auffälligsten, da bei diesen Versuchen wegen der hohen Selbstinduktion und Frequenz die kritische Kapacität sehr gering ist und nur wenig verändert zu werden braucht, um sehr beträchtliche Aenderungen in der Wirkung hervorzurufen. Indem der Experimentator seinen Körper mit den Enden des Sekundärkreises der Spule in Berührung bringt oder an ein oder beide Enden isolirte Körper von sehr kleiner Ausdehnung wie z. B. evakuirte Glasbirnen befestigt, bringt derselbe eine bedeutende Erhöhung oder Erniedrigung der Spannung in dem sekundären Kreise hervor und übt auf das Fliessen des Stromes durch die primäre Spule einen erheblichen Einfluss aus.

Bei einigen der beobachteten Erscheinungen spielt das Vorhandensein der Luft oder, allgemein gesprochen, eines Mediums von gasförmiger Beschaffenheit (wo dieser Ausdruck nicht zur Bezeichnung specifischer Eigenschaften, sondern im Gegensatz zu homogenen oder vollkommen kontinuirlichen Körpern gebraucht ist) eine wichtige Rolle, da durch sie eine Zerstreuung der Energie infolge des Zusammenstossens oder des Bombardements der Moleküle herbeigeführt wird. Die Wirkung wird in folgender Weise erklärt: Wenn ein isolirter mit einem Pole der Spule verbundener Körper plötzlich zu hohem Potential geladen wird, so wirkt er induktiv auf die umgebende Luft oder das gerade vorhandene gasförmige Medium. Die in seiner Nähe befindlichen Moleküle oder Atome werden natürlich mehr angezogen und bewegen sich über eine grössere Entfernung als die weiter abgelegenen. Wenn die nächsten Moleküle den Körper treffen, werden sie abgestossen und es finden innerhalb der Entfernung, auf welche die Induktion wirkt, Zusammenstösse statt. Es ist nun klar, dass, wenn das Potential konstant ist, nur wenig Energieverlust auf diese Weise verursacht werden kann, da die dem Körper am nächsten befindlichen Moleküle, nachdem sie durch Berührung mit demselben einen Ladungsüberschuss erhalten haben, nicht eher wieder angezogen werden, als bis sie, wenn nicht den ganzen Ladungsüberschuss, doch wenigstens den grössten Theil desselben abgegeben haben, was nur nach sehr vielen Zusammenstössen der Fall sein kann. Dies ergiebt sich aus dem Umstande, dass bei konstantem Potential nur wenig Energieverlust in trockener Luft stattfindet. Ist das Potential aber nicht konstant, sondern alternirend, so sind die Verhältnisse völlig verschieden. In diesem Falle findet ein rythmisches Bombardement statt, mögen nun die Moleküle, nachdem sie mit dem

Körper in Berührung gekommen, die ihnen mitgetheilte Ladung verlieren oder nicht, und, falls sie die Ladung nicht verlieren, sind die Zusammenstösse um so heftiger. Trotzdem würde, wenn die Frequenz der Stromimpulse sehr klein ist, der durch das Anprallen und die Zusammenstösse verursachte Verlust nicht sehr gross sein, wenn nicht das Potential ausserordentlich hoch wäre. Werden aber äusserst hohe Frequenzen und mehr oder weniger hohe Potentiale benutzt, so kann der Verlust sehr bedeutend sein. Der Gesammtenergieverlust per Zeiteinheit ist proportional dem Produkt aus der Anzahl der Zusammenstösse per Sekunde oder der Frequenz und der bei jedem Zusammenstoss verlorenen Energie. Die Energie eines Zusammenstosses muss aber dem Quadrat der elektrischen Dichtigkeit des Körpers proportional sein, wenn man annimmt, dass die dem Molekül mitgetheilte Ladung jener Dichtigkeit proportional ist. Man schliesst hieraus, dass der Gesammtenergieverlust proportional sein muss dem Produkt aus der Frequenz und dem Quadrat der elektrischen Dichtigkeit. Dies Gesetz bedarf aber der experimentellen Bestätigung. Nimmt man die vorigen Betrachtungen als richtig an, so kann dadurch, dass man das Potential eines in einem isolirenden gasförmigen Medium enthaltenen Körpers sehr rasch wechselt, jeder beliebige Energiebetrag in den Raum zerstreut werden. Der grösste Theil dieser Energie wird dann nicht in Form langer Aetherwellen, die sich auf beträchtliche Enfernungen fortpflanzen, wie man allgemein glaubt, zerstreut, sondern in den durch die Zusammenstösse verursachten Verlusten, d. h. in Wärmeschwingungen, an der Oberfläche und in der Umgebung des Körpers verzehrt. Um diese Energiezerstreuung zu vermindern, muss man mit einer kleinen elektrischen Dichtigkeit arbeiten, und zwar mit einer um so kleineren, je höher die Frequenz ist.

Das Verhalten eines gasförmigen Mediums solchen rapiden Spannungswechseln gegenüber macht es wahrscheinlich, dass elektrostatische Störungen der Erde, welche durch kosmische Ereignisse hervorgerufen werden, einen grossen Einfluss auf die meteorologischen Verhältnisse ausüben. Wenn solche Störungen eintreten, so sind sowohl die Frequenz der Schwingungen der Ladung wie die Spannung aller Wahrscheinlichkeit nach ausserordentlich hoch und die in Wärme umgewandelte Energie kann beträchtlich sein. Da die Dichtigkeit der elektrischen Vertheilung eine ungleichmässige sein muss, entweder infolge der Unregelmässigkeit der Erdoberfläche oder wegen des Zustandes der Atmosphäre an verschiedenen Orten, so würde demgemäss die erzeugte Wirkung von Ort zu Ort verschieden sein. Auf diese Weise können an einem Punkte

der Erdoberfläche erhebliche Variationen in der Temperatur und dem Drucke der Atmosphäre stattfinden. Die Variationen können allmähliche oder sehr plötzliche sein, je nach der Natur der ursprünglichen Störung, und können Regen und Sturm erzeugen oder das Wetter an einem Orte irgendwie ändern.

Aus vielen im Laufe dieser Untersuchungen gesammelten Erfahrungen geht ziemlich sicher hervor, dass bei Blitzentladungen die Luft ein wichtiges Element ist. Beispielsweise könnte sich während eines Gewitters an einem Nagel oder einem spitzen Vorsprung eines Gebäudes ein Lichtbüschel bilden. Wenn ein Blitz irgendwo in der Nähe einschlägt, so kann die harmlose elektrostatische Entladung infolge der entstehenden Oscillationen den Charakter eines durch hohe Frequenz erzeugten Lichtbüschels annehmen und der Nagel oder der Vorsprung kann durch den heftigen Anprall der Luftmoleküle auf eine hohe Temperatur gebracht werden. Auf diese Weise könnte, wie Tesla glaubt, ein Haus in Brand gesteckt werden, ohne dass ein Blitzstrahl dasselbe trifft. In gleicher Weise können kleine Metallgegenstände geschmolzen oder verflüchtigt werden — wie es häufig bei Blitzentladungen vorkommt —, bloss weil dieselben von Luft umgeben sind. Wären sie in einem praktisch kontinuirlichen Medium, wie z. B. in Oel, enthalten, so würden sie wahrscheinlich geschützt sein, da die Energie anderswo verausgabt werden würde.

Ein instruktives auf diesen Gegenstand bezügliches Experiment ist folgendes: Man nimmt eine Glasröhre von ca. 25 mm Durchmesser und einigen Decimetern Länge, in welche ein Platindraht eingeschmolzen ist, der in der Mitte derselben von einem Ende bis zum andern hindurchgeht. Die Röhre ist mässig evakuirt. Geht ein konstanter Strom durch den Draht, so wird derselbe in allen Theilen gleichmässig erwärmt und das Gas in der Röhre hat nichts zu bedeuten. Wenn aber Entladungen hoher Frequenz durch den Draht geleitet werden, so wird derselbe an den Enden mehr als in dem mittleren Theile erhitzt, und wenn die Frequenz oder Aenderungsgeschwindigkeit hoch genug ist, so könnte der Draht auch in der Mitte entzwei geschnitten werden, denn die Erwärmung an den Enden rührt zum grössten Theile von dem verdünnten Gase her. Hier könnte das Gas nur wirken wie ein Leiter ohne scheinbaren Widerstand, indem es den Strom von dem Drahte ablenkt, da der scheinbare Widerstand des letzteren enorm zunimmt, und nur die Enden des Drahtes wegen des Widerstandes, den sie dem Durchgang der Entladung entgegensetzen, erwärmt. Es ist jedoch überhaupt nicht nothwendig, dass das Gas in der Röhre leitend sein müsse; es könnte sich unter ausserordentlich geringem Drucke befinden und doch

würden die Enden des Drahtes erhitzt werden, jedoch, wie durch Versuche festgestellt wurde, nur wenn die beiden Enden in solchem Falle nicht durch das gasförmige Medium hindurch elektrisch verbunden waren. Was nun bei diesen Frequenzen und Potentialen in einer evakuirten Röhre eintritt, tritt auch bei der Blitzentladung bei gewöhnlichem Luftdrucke ein.

Aus der Leichtigkeit, mit welcher jeder beliebige Energiebetrag, durch ein Gas fortgeführt werden kann, folgert Tesla, dass die beste Methode, eine Blitzentladung unschädlich zu machen, darin besteht, dass man derselben in irgend einer Weise einen Durchgang durch ein Gasvolumen ermöglicht.

Die Erkenntniss einiger der erwähnten Thatsachen hat eine weitreichende Bedeutung für wissenschaftliche Untersuchungen, bei denen ausserordentlich hohe Frequenzen und Potentiale benutzt werden. In solchen Fällen ist die Luft als wichtiger Faktor in Betracht zu ziehen. Wenn z. B. zwei Drähte an den Polen der Spule befestigt werden, und es gehen Lichtströmungen von denselben aus, so findet eine Energiezerstreuung in der Form von Wärme und Licht statt und die Drähte verhalten sich wie ein Kondensator von grösserer Kapacität. Werden die Drähte in Oel eingetaucht, so wird die Energiezerstreuung verhindert oder mindestens reducirt, und die scheinbare Kapacität wird verringert. Die Wirkung der Luft würde es sehr schwierig machen, aus der gemessenen oder berechneten Kapacität eines Kondensators, bei welchem Luft eine Rolle spielt, seine wirkliche Kapacität oder Schwingungsperiode zu beurtheilen, besonders wenn der Kondensator von sehr geringer Oberfläche und zu einem sehr hohen Potential geladen ist. Da viele wichtige Resultate von der Richtigkeit der Beurtheilung der Schwingungsperiode abhängen, so erfordert dieser Gegenstand die sorgfältigste Untersuchung.

Bei Leydener Flaschen ist der von dem Vorhandensein der Luft herrührende Verlust verhältnissmässig gering, hauptsächlich wegen der grossen Oberfläche der Belegungen und der geringen äusseren Wirkung, aber wenn sich Büschel an dem Knopfe bilden, so kann der Verlust erheblich sein und die Schwingungsperiode beeinflusst werden. In einem Resonator ist die Dichtigkeit gering, aber die Frequenz ausserordentlich gross und kann einen erheblichen Fehler einführen. Jedenfalls scheint es sicher, dass die Schwingungsperioden eines geladenen Körpers in einem gasförmigen und in einem kontinuirlichen Medium, wie z. B. Oel, wegen der bereits erklärten Wirkung des ersteren verschieden sind.

Eine andere Thatsache von einiger Wichtigkeit, welche bei diesen Versuchen festgestellt wurde, ist die, dass bei dergleichen Untersuchungen die allgemeinen Betrachtungen betreffend die statische Schirmwirkung nicht anwendbar sind, wenn ein gasförmiges Medium vorhanden ist. Dies geht aus folgendem Versuche hervor: Eine kurze und weite Glasröhre wird mit einer dicken Schicht Broncepulver bedeckt, welche das Licht kaum ein wenig durchscheinen lässt. Die Röhre wird stark evakuirt und an einem metallenen Haken am Ende eines Drahtes aufgehängt. Wird der Draht mit einem der Pole der Spule verbunden, so wird das Gas innerhalb der Röhre trotz der metallenen Umkleidung erleuchtet. Hiernach schirmt offenbar das Metall das Gas im Innern der Röhre nicht, wie man glauben sollte, selbst wenn es sehr dünn und schlecht leitend ist. Und doch schirmt im Ruhezustande die Metallbekleidung, mag sie auch noch so dünn sein, das Innere vollständig.

Eins der interessantesten Resultate, zu welchen Tesla im Verlaufe dieser Versuche gelangte, ist der Beweis der Thatsache, dass ein gasförmiges Medium, welchem durch rapide Aenderungen des elektrostatischen Potentials ein Schwingungszustand mitgetheilt ist, sich wie ein starrer Körper verhält. Zur Erläuterung dieses Resultats möge ein von Tesla ausgeführter Versuch erwähnt werden: Eine Glasröhre von etwa 25 mm Durchmesser und 90 cm Länge, welche aussen an ihren Enden mit Kondensatorbelegungen versehen war, wurde bis zu einem gewissen Punkte evakuirt und an einem die obere Belegung mit dem einen Pole der Spule verbindenden Drahte frei aufgehängt. Die Entladung zeigte sich dann in der Form eines durch die Achse der Röhre hindurchgehenden leuchtenden Fadens. Gewöhnlich war der Faden in dem oberen Theile der Röhre scharf begrenzt und verlor sich nach dem unteren Theile zu. Wenn ein Magnet oder der Finger schnell in der Nähe des oberen Theiles des leuchtenden Fadens vorübergeführt wurde, so wurde der letztere durch magnetische oder elektrostatische Influenz aus seiner Lage gebracht und es bildete sich eine transversale Schwingung, ähnlich derjenigen einer aufgehängten Saite, mit einem oder mehreren Knoten, welche einige Minuten andauerte und dann allmählich erlosch. Durch Aufhängung von Metallplatten verschiedener Grösse an der unteren Kondensatorbelegung wurde die Geschwindigkeit der Schwingung variirt. Diese Schwingung scheint zweifellos darzuthun, dass der Faden mindestens gegenüber transversalen Verschiebungen sich wie ein starrer Körper verhält.

Viele Versuche wurden ausgeführt, um diese Eigenschaft in Luft bei gewöhnlichem Drucke nachzuweisen. Obwohl hierfür kein positiver

Beweis erbracht werden konnte, glaubt Tesla doch, dass, wenn die Frequenz weit genug getrieben werden könnte, ein bei so hoher Frequenz auftretender Lichtpinsel oder Lichtbüschel entschieden wie ein starrer Körper sich verhalten würde. Es könnte dann eine kleine Kugel innerhalb desselben ganz frei bewegt werden, wenn die Kugel aber gegen dasselbe bewegt würde, würde sie zurückprallen. Eine gewöhnliche Flamme kann nicht in ausgeprägtem Maasse Starrheit besitzen, da die Schwingung keine bestimmte Richtung besitzt; ein elektrischer Bogen aber muss nach Ansicht Tesla's diese Eigenschaft mehr oder weniger besitzen. Ein in einer Lampenbirne durch wiederholte Entladungen einer Leydener Flasche erregter Lichtstreifen muss ebenfalls Starrheit besitzen und würde, wenn deformirt und plötzlich losgelassen, hin- und herschwingen.

Aus gleichen Betrachtungen können andere interessante Folgerungen gezogen werden. Das den Raum erfüllende Medium besteht höchst wahrscheinlich aus von einander unabhängigen Molekülen, die in ein isolirendes Fluidum tauchen. Nimmt man an, dass durch dieses Medium hindurch ungeheure elektrostatische Spannungen wirken, welche sehr rasch in ihrer Stärke variiren, so würde dasselbe die Bewegung eines Körpers durch sich hindurch gestatten, und doch würde es starr und elastisch sein, obwohl dem Fluidum selbst diese Eigenschaften fehlen könnten. Ferner würde unter der Annahme, dass die unabhängigen Moleküle derart gestaltet sind, dass der Widerstand des Fluidums gegen Bewegung in einer Richtung grösser ist als in einer andern, eine derartige Spannung bewirken, dass die Moleküle sich zu Gruppen anordnen, indem sie die Seiten grösster elektrischer Dichtigkeit einander zuwenden würden, in welcher Lage der Widerstand des Fluidums gegen Annäherung geringer wäre als gegen das Zurückweichen. Wenn in einem Medium von den obigen charakteristischen Eigenthümlichkeiten durch ein konstantes Potential ein Lichtbüschel gebildet würde, so würde beständig ein Wechsel der Moleküle stattfinden und es würden in dem Lichtbüschel weniger Moleküle per Volumeneinheit vorhanden sein als in dem Raume in einer gewissen Entfernung von der Elektrode, welche Entfernung von der Verdünnung abhängt. Wenn das Potential sich dagegen rasch änderte, so würde das Resultat ein sehr verschiedenes sein; je höher die Frequenz der Stromimpulse, um so langsamer würde der Wechsel der Moleküle stattfinden; schliesslich würde die Translationsbewegung durch messbare Räume hindurch aufhören und bei genügend hoher Frequenz und Intensität der Spannung würden die Moleküle nach der Elektrode hingezogen werden und es würde eine Kompression die Folge sein.

Eine interessante Eigenthümlichkeit dieser Ströme hoher Frequenz ist, dass sie gestatten, Apparate aller Arten in der Weise zu betreiben, dass man sie nur mit einem Leitungsdraht an die Elektricitätsquelle anschliesst. In der That kann es unter gewissen Umständen ökonomischer sein, die elektrische Energie mittels einer Leitung zu liefern als mit zwei.

Ein von Tesla vorgeführter Versuch von besonderem Interesse ist der Betrieb eines Tesla'schen Drehfeldmotors unter Anwendung nur einer isolirten Leitung. Eine einfache Form eines solchen Motors erhält man, indem man auf einen untertheilten Eisenkern eine primäre Wickelung und dicht an derselben eine sekundäre Wickelung aufbringt, die Enden der letzteren zusammenschliesst und eine frei bewegliche Metallscheibe in den Wirkungsbereich des beweglichen Feldes bringt. Die sekundäre Wickelung kann jedoch weggelassen werden. Wenn das eine Ende der Primärspule des Motors mit der einen Klemme der Hochfrequenzspule und das andere Ende mit einer isolirten Metallplatte, die jedoch, wie bemerkt werden muss, für das Gelingen des Versuchs nicht absolut erforderlich ist, verbunden wird, so wird die Scheibe in Rotation versetzt.

Versuche dieser Art scheinen darauf hinzuweisen, dass es möglich sein muss, an irgend einem Punkte der Erdoberfläche von einer centralen Stromquelle aus einen Motor ohne irgend eine andere Verbindung mit derselben als durch die Erde zu betreiben. Werden mit Hülfe einer kräftigen Maschine rapide Aenderungen des Erdpotentials hervorgebracht, so würde ein in die Erde eingegrabener und bis zu einer gewissen Höhe herausragender Draht von einem Strome durchflossen werden, welcher durch Verbindung des freien Endes des Drahtes mit einem Körper von gewissem Umfange verstärkt werden könnte. Der Strom könnte in einen solchen von niedriger Spannung umgewandelt und zum Betriebe eines Motors oder anderen Apparates verwandt werden. Der Versuch, der von grossem wissenschaftlichen Interesse wäre, würde wahrscheinlich am besten auf einem Schiffe zur See gelingen. Auf diese Weise könnten, auch wenn es nicht gerade möglich sein sollte, Maschinen zu betreiben, doch ganz sicher verständliche Zeichen übertragen werden.

Im Verlaufe dieser experimentellen Untersuchungen wurde den von diesen Strömen erzeugten Wärmewirkungen, welche nicht nur höchst merkwürdig sind, sondern auch die Möglichkeit eröffnen, eine wirksame Beleuchtung hervorzubringen, besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Man braucht nur an der Spulenklemme einen dünnen Draht oder Lampenfaden zu befestigen, um die Temperatur des letzteren merklich zu erhöhen.

Wird der Draht oder Lampenfaden in eine Glasbirne eingeschlossen, so wird durch Verhinderung der Luftcirkulation die Wärmewirkung vergrössert. Wird die Luft in der Birne stark komprimirt, so werden die Verschiebungen der Luftmoleküle geringer, die Zusammenstösse weniger heftig und die Wärmewirkung wird vermindert. Wenn dagegen die Luft aus der Birne ausgepumpt wird, so wird ein darin eingeschlossener Lampenfaden zum Glühen gebracht, und es kann auf diese Weise jeder beliebige Lichtbetrag erzeugt werden.

Die Erwärmung des eingeschlossenen Lampenfadens hängt von so vielen verschiedenartigen Dingen ab, dass es schwer ist, eine allgemein anwendbare Regel anzugeben, unter welchen Bedingungen die maximale Wärmewirkung eintritt. Bezüglich der Grösse der Lampenbirne ist sicher, dass bei gewöhnlichem oder nur wenig von dem gewöhnlichen abweichenden Luftdrucke, wo Luft ein guter Isolator ist, der Faden in einer kleinen Birne stärker erhitzt wird, wegen der besseren Koncentration der Wärme in diesem Falle. Bei geringerem Drucke, wo Luft leitend wird, ist die Wärmewirkung grösser in einer weiten Birne, bei ausserordentlich hohem Grade der Verdünnung der Luft scheint jedoch über eine gewisse und zwar ziemlich geringe Grösse des Gefässes hinaus kein merklicher Unterschied in der Erwärmung stattzufinden.

Die Form des Gefässes ist ebenfalls von einiger Wichtigkeit, und es hat sich aus Gründen der Oekonomie als vortheilhaft herausgestellt, eine kugelförmige Birne zu verwenden, bei welcher die Elektrode im Mittelpunkt angebracht ist, da hier die zurückprallenden Moleküle zusammenstossen.

Es ist mit Rücksicht auf Oekonomie wünschenswerth, dass die gesammte von der Elektricitätsquelle an die Birne gelieferte Energie ohne Verlust den zu erwärmenden Körper erreicht. Der Verlust bei der Ueberführung der Energie von der Quelle bis zum Körper kann durch Anwendung dünner stark isolirter Drähte und durch Benutzung elektrostatischer Schirme vermindert werden. Es ist zu bemerken, dass der Schirm nicht, wie unter gewöhnlichen Verhältnissen, mit Erde verbunden werden darf.

In der Lampenbirne selbst kann ein grosser Theil der zugeführten Energie durch das Bombardement der Moleküle gegen den Draht, welcher den zu erwärmenden Körper mit der Stromquelle verbindet, verloren gehen. Eine erhebliche Verbesserung kann dadurch bewirkt werden, dass man den den Draht haltenden Glasstiel mit einer dicht anschliessenden leitenden Röhre umgiebt. Diese Röhre muss etwas über das Glas hervorragen und verhindert das Zerspringen des letzteren in der Nähe

des erhitzten Körpers. Die Wirksamkeit der leitenden Röhre ist auf sehr hohe Grade der Luftverdünnung beschränkt. Dieselbe verhindert den Energieverlust beim Bombardement aus zwei Gründen: erstens breitet sich die von den Atomen abgegebene Ladung über eine grössere Fläche aus und daher wird die elektrische Dichtigkeit in jedem Punkte gering und die Atome werden mit geringerer Energie zurückgestossen, als wenn sie gegen einen guten Isolator anprallen würden; zweitens wird, da die Röhre durch die zuerst mit ihr in Berührung kommenden Atome elektrisirt wird, das Vordringen der nachfolgenden Atome gegen die Röhre mehr oder weniger durch die Abstossung aufgehalten, welche die elektrisirte Röhre auf die gleichnamig elektrisirten Atome ausüben muss. Dies dürfte erklären, warum die Entladung durch eine Lampenbirne mit weit grösserer Leichtigkeit erfolgt, wenn ein Isolator als wenn ein Leiter vorhanden ist.

Während der Untersuchungen wurden sehr viele Lampenbirnen verschiedener Konstruktion mit Elektroden von verschiedenem Material probirt und eine Anzahl interessanter Beobachtungen gemacht. Tesla hat gefunden, dass die Abnutzung der Elektrode um so geringer ist, je höher die Frequenz ist. Dies war zu erwarten, da dann die Erwärmung durch sehr viele kleine Zusammenstösse anstatt durch weniger und heftigere, welche die Struktur schnell zerstören, hervorgebracht wird. Die Abnutzung ist ferner geringer, wenn die Schwingungen harmonisch sind. Daher besitzt eine Elektrode, welche auf einem bestimmten Wärmegrade erhalten wird, eine viel längere Lebensdauer bei Strömen, welche von einer Wechselstrommaschine herrühren als bei den mittels einer disruptiven Entladung erhaltenen Strömen. Eine der dauerhaftesten Elektroden wurde aus stark komprimirtem Carborundum, welches eine von Herrn E. G. Acheson in Monongahela City, Pa., erzeugte Art Kohle ist, erhalten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass, um möglichst dauerhaft zu sein, die Elektrode die Form einer Kugel mit einer gut polirten Oberfläche haben sollte.

In einigen Glasbirnen wurden feuerbeständige Körper auf einer Kohlenspitze angebracht und dem Bombardement der Moleküle ausgesetzt. Man beobachtete bei solchen Versuchen, dass die Kohlenspitze zuerst erhitzt wurde, bis eine höhere Temperatur erreicht war; alsdann war das Bombardement zum grössten Theil gegen den feuerbeständigen Körper gerichtet und die Kohle wurde entlastet. Allgemein würde, wenn verschiedene Körper in der Glasbirne angebracht werden, der am schwersten schmelzbare weniger angegriffen werden und bei beträchtlich geringerer Temperatur bleiben. Dies ist eine Folge des Umstandes, dass der grösste

Theil der zugeführten Energie seinen Weg durch denjenigen Körper nimmt, welcher am leichtesten geschmolzen oder verdampft wird.

Seltsam genug ergab sich aus einigen der angestellten Versuche, dass ein Körper in der Glasbirne unter dem Bombardement der Moleküle bei weniger Lichtentwickelung schmilzt, als wenn er unter Anwendung von Hitze auf gewöhnlichem Wege geschmolzen wird. Es kann dies einer Lockerung der Struktur des Körpers unter den heftigen Stössen und wechselnden Spannungen zugeschrieben werden.

Gewisse Versuche scheinen darauf hinzudeuten, dass ein leitender oder nichtleitender Körper, wenn bombardirt, unter gewissen Bedingungen ein Licht aussenden kann, welches allem Anschein nach von Phosphorescenz herrührt, aber in Wirklichkeit durch das Glühen einer unendlich dünnen Schicht veranlasst sein könnte, während die mittlere Temperatur des Körpers verhältnissmässig klein wäre. Solches könnte der Fall sein, wenn jeder einzelne rythmische Zusammenstoss die Netzhaut augenblicklich zu erregen vermöchte und der Rythmus gerade hoch genug wäre, um einen kontinuirlichen Eindruck im Auge hervorzubringen. In Uebereinstimmung mit dieser Anschauung würde eine durch disruptive Entladungen bethätigte Spule zur Erzeugung eines solchen Resultats hervorragend geeignet sein und die Erfahrung hat gelehrt, dass ihre Fähigkeit, Phosphorescenz zu erregen, ausserordentlich gross ist. Dieselbe vermag bei verhältnissmässig geringer Evakuirung Phosphorescenz zu erregen und wirft auch Schatten bei weit grösserem Drucke, als derjenige ist, bei welchem die mittlere freie Bahn der Moleküle den Dimensionen des Gefässes vergleichbar ist. Die letztere Beobachtung ist von einiger Wichtigkeit, insofern als sie die allgemein angenommenen Ansichten bezüglich der Erscheinungen des „strahlenden Zustandes" der Materie modificiren kann.

Ein Gedanke, welcher Tesla schon sehr früh und naturgemäss gekommen war, war der, die grossen induktiven Wirkungen der Ströme hoher Frequenz zur Erzeugung von Licht in einem zugeschmolzenen Glasgefäss ohne Anwendung von Zuführungsdrähten zu verwerthen. Demgemäss wurden viele Birnen konstruirt, in welchen die zur Glühenderhaltung eines Knopfes oder Fadens erforderliche Energie durch das Glas hindurch entweder durch elektrostatische oder elektrodynamische Induktion geliefert wird. Die Intensität des ausgesandten Lichtes konnte leicht durch eine aussen angebrachte, mit einer isolirten Platte verbundene Kondensatorbelegung oder einfach mittels einer an der Birne befestigten Platte, welche zu gleicher Zeit die Rolle eines Lampenschirmes spielte, regulirt werden.

Ein Versuchsgegenstand, welcher in England von Prof. J. J. Thomson erschöpfend behandelt wurde, war von Tesla von Beginn seiner Untersuchungen an unabhängig von dem Genannten studirt worden, nämlich die Erregung eines leuchtenden Streifens in einer geschlossenen Röhre oder Birne durch elektrodynamische Induktion. Bei der Beobachtung des Verhaltens von Gasen und der dabei erhaltenen Lichterscheinungen wurde er auf die Wichtigkeit der elektrostatischen Wirkungen aufmerksam und es erschien ihm wünschenswerth, enorme Spannungsunterschiede, die mit ausserordentlicher Schnelligkeit wechseln, zu erzeugen. Versuche in dieser Richtung führten zu einigen der interessantesten Resultate, zu welchen man im Laufe dieser Untersuchungen gelangte. Es wurde gefunden, dass durch rapide Aenderungen eines hohen elektrostatischen Potentials evakuirte Röhren in erheblicher Entfernung von einem mit einer passend konstruirten Spule verbundenen Leiter erleuchtet werden konnten und dass es möglich war, mit der Spule ein wechselndes elektrostatisches Feld herzustellen, welches über das ganze Zimmer hin wirkte und eine Röhre zum Leuchten brachte, wo immer dieselbe auch innerhalb der vier Wände hingesetzt werden mochte. In einem solchen Felde können phosporescirende Röhren erregt werden und es ist leicht, die Wirkung durch Verbindung der Birne mit einer kleinen isolirten Metallplatte zu reguliren. Ebenso war es möglich, einen in einer Röhre angebrachten Faden oder Knopf bei hellem Glühen zu erhalten, und bei einem Versuch wurde ein Glimmerflügel durch das Glühen eines Platindrahtes in Drehung versetzt.

Gehen wir nun über zu dem in Philadelphia und St. Louis gehaltenen Vortrage, so ist zunächst zu bemerken, dass der oberflächliche Leser die von der Bedeutung des Auges handelnde Einleitung Tesla's für eine Abschweifung halten könnte; der aufmerksame Leser aber wird darin viel Anregung zum Nachdenken und Spekuliren finden. Durch den ganzen Diskurs hindurch kann man verfolgen, wie sich Tesla bemühte, in populärer Weise Gedanken und Ansichten über elektrische Erscheinungen vorzutragen, welche in neuerer Zeit die wissenschaftliche Welt beschäftigt haben, von denen aber das grosse Publikum bis jetzt kaum eine leise Andeutung erhalten hat. Tesla verweilt ferner ziemlich lange bei seiner bekannten Methode der Umwandlung hoher Frequenz und die grosse Menge eingehender Informationen wird Studirenden und Experimentatoren auf diesem jungfräulichen Felde willkommen sein. Die Heranziehung passender Analogien bei der Erklärung der zu Grunde liegenden Principien macht es jedem leicht, eine klare Vorstellung ihrer Natur zu gewinnen. Ferner wird die Leichtigkeit, mit der man heut-

zutage dank den Bemühungen Tesla's solche Ströme hoher Frequenz aus was immer für Strom führenden Stromkreisen erhalten kann, ganz sicher dahin führen, dass dieses so viele Möglichkeiten eröffnende Forschungsgebiet bald eine ausgedehnte Erweiterung erfahren wird. Tesla trägt als wahrer Naturforscher durchaus kein Bedenken, auf Mängel in einigen seiner Methoden hinzuweisen, und deutet die Richtungen an, die ihm die versprechendsten zu sein scheinen. Besonderen Nachdruck legt er auf die Verwendung eines Mediums, in welches die Entladungs-Elektroden eingetaucht werden sollen, um diese Methode der Umwandlung zur grössten Vollkommenheit zu bringen. Er ist offenbar besorgt gewesen, denen, die seinen Fusstapfen zu folgen gedenken, soviel nützliche Informationen wie möglich zu geben, da er die in allen praktisch vorkommenden Fällen anzuwendenden Stromkreisanordnungen ausführlich darlegt, und wenn auch einige dieser Methoden von ihm zwei Jahre vorher beschrieben wurden, so wird doch die weitere Belehrung am Platze und willkommen sein.

Bei seinen Versuchen behandelt er zunächst gewisse Erscheinungen, welche durch elektrostatische Kraft hervorgebracht werden. Diese Kraft betrachtet er im Lichte der modernen Theorieen als diejenige in der Natur, deren Erforschung für uns am wichtigsten ist. Ganz am Anfang führt er einen überraschenden neuen Versuch vor, der die Wirkung einer rasch variirenden elektrostatischen Kraft in einem gasförmigen Medium veranschaulicht, indem er mit einer Hand die eine der Klemmen eines 200 000 Volt-Transformators berührt und die andere Hand an die entgegengesetzte Klemme bringt. Die mächtigen Lichtbüschel, welche von seiner Hand ausgingen und seine Zuhörer in Erstaunen setzten, bildeten eine vorzügliche Illustration einiger der vorgetragenen Ansichten und gaben Tesla Gelegenheit, die wahren Gründe darzulegen, weshalb bei diesen Strömen ein solcher Energiebetrag durch den Körper ohne Schaden hindurchgesandt werden kann. Er zeigte dann durch einen Versuch den Unterschied zwischen einer konstanten und einer rasch variirenden auf das Dielektrikum ausgeübten Kraft. Dieser Unterschied wird in höchst merkwürdiger Weise durch den Versuch erläutert, bei welchem eine Glasbirne, die an dem Ende eines mit der einen Klemme des Transformators in Verbindung stehenden Drahtes befestigt ist, zertrümmert wird, obwohl alle äusseren Körper von der Birne entfernt waren. Er zeigt dann, wie durch eine variirende, durch ein gasförmiges Medium hindurch wirkende elektrostatische Kraft mechanische Bewegungen hervorgebracht werden. Die Wichtigkeit der Wirkung der Luft wird durch einen interessanten Versuch besonders erläutert.

Uebergehend zu einer anderen Klasse von Erscheinungen, nämlich denjenigen der dynamischen Elektricität, brachte Tesla in einer Anzahl von Versuchen verschiedenartige Wirkungen durch Anwendung nur eines einzigen Drahtes hervor in der offenbaren Absicht, seine Zuhörer mit dem Gedanken vertraut zu machen, dass elektrische Schwingungen oder Ströme mit Leichtigkeit ohne jeden Rückleitungsdraht übertragen werden können, ferner zeigte er, wie derart übertragene Ströme sich umwandeln und für viele praktische Zwecke benutzen lassen. Sodann wurde eine Anzahl von Versuchen vorgeführt, welche die Wirkungen der Frequenz, Selbstinduktion und Kapacität erläutern sollten, ebenso eine Anzahl von Methoden, um Motoren oder andere Apparate mit Benutzung nur einer einzigen Leitung zu betreiben. Auch wurden mehrere neue Impedanzerscheinungen gezeigt, die nicht verfehlen werden, Interesse zu erwecken.

Sodann verbreitete sich Tesla über einen von ihm für sehr wichtig gehaltenen Gegenstand, nämlich die elektrische Resonanz, die er in populärer Weise erklärte. Er drückte seine feste Ueberzeugung aus, dass bei Innehaltung gewisser Bedingungen Mittheilungen und möglicher Weise auch Kraft durch das Medium oder die Erde hindurch übertragen werden könnten, und hält dieses Problem ernster und dringender Erwägung werth.

Indem er sodann speciell zu den Lichterscheinungen übergeht, erläutert er die vier verschiedenen Arten dieser Erscheinungen in origineller Weise, die vielen etwas Neues gewesen sein muss. Tesla schreibt diese Lichtwirkungen den durch eine variirende elektrostatische Spannung in einem gasförmigen Medium erzeugten Zusammenstössen der Moleküle oder Atome zu. Er erläutert in einer Reihe neuer Versuche die Wirkung des den Leiter umgebenden Gases und weist über allen Zweifel nach, dass bei Strömen hoher Frequenz und hoher Spannung das umgebende Gas bei der Erwärmung des Leiters von der grössten Bedeutung ist. Die Erwärmung schreibt er theils einem Leitungsstrome und theils dem Bombardement zu und weist nach, dass in vielen Fällen die Erwärmung praktisch von dem Bombardement allein herrühren kann. Er deutet auch an, wie die Oberflächenwirkung durch das Vorhandensein des Gases oder überhaupt eines aus Atomen bestehenden Mediums bedeutend modificirt wird. Ferner führt er einige interessante Versuche vor, durch welche die Wirkung der Convektion gezeigt wird. Wahrscheinlich einer der merkwürdigsten Versuche in dieser Beziehung ist der, bei welchem ein dünner längs der Achse einer luftleeren Röhre ausgespannter Platindraht an gewissen der Lage der Schichten entsprechenden Stellen zum Glühen gebracht wird, während er an andern Stellen dunkel bleibt.

Dieser Versuch verbreitet ein interessantes Licht über die Natur der Schichten und kann zu wichtigen Entdeckungen führen.

Tesla beweist ferner die Zerstreuung der Energie durch ein atomisches Medium, verbreitet sich über das Verhalten luftleerer Räume gegenüber der Wärmeleitung und zeigt im Zusammenhange hiermit das seltsame Verhalten eines Elektrodenstromes, aus welchem er schliesst, dass die Moleküle eines Gases wahrscheinlich nicht direkt auf messbare Entfernungen beeinflusst werden können.

Tesla hat die Hauptergebnisse, zu denen er bei seinen Untersuchungen gelangte, in einer Weise zusammengestellt, dass sie allen, welche auf diesem Felde arbeiten wollen, als werthvoller Führer dienen werden. Vielleicht das meiste Interesse wird sich auf seine allgemeinen Bemerkungen bezüglich der Phosphorescenzerscheinungen koncentriren, von denen das wichtigste Ergebniss ist, dass bei der Erregung einer phosphorescirenden Lampenbirne ein gewisses bestimmtes Potential das ökonomischste Resultat giebt.

Die Vorträge sollen nun hier in der Reihenfolge, wie sie gehalten wurden, mitgetheilt werden.

---

26. Kapitel.

Versuche mit Wechselströmen von sehr hoher Frequenz und deren Anwendung auf Methoden der künstlichen Beleuchtung.*)

„Es giebt keinen fesselnderen Gegenstand, welcher mehr des Studiums werth wäre, als die Natur. Diesen grossen Mechanismus zu verstehen, die Kräfte, welche wirksam sind, und die Gesetze, denen sie gehorchen, zu entdecken, ist das höchste Ziel der menschlichen Erkenntniss.

Die Natur hat in dem Weltall eine unendliche Energie aufgespeichert. Der ewige Empfänger und Uebertrager dieser unendlichen Energie ist der Aether. Die Erkenntniss der Existenz des Aethers und der Funktionen, welche er ausübt, ist eins der wichtigsten Ergebnisse moderner wissenschaftlicher Forschung. Das völlige Aufgeben der Vorstellung einer Wirkung in die Ferne, die Annahme eines den ganzen Raum durchdringenden und die gesammte Materie verbindenden Mittels hat die

---

*) Vortrag, gehalten vor dem American Institute of Electrical Engineers im Columbia College N. Y., am 20. Mai 1891.

Geister der Denker von einem immerwährenden Zweifel befreit und durch Eröffnung eines neuen Gesichtskreises, neuer und unvorhergesehener Möglichkeiten den Erscheinungen, mit denen wir von Alters her vertraut sind, ein erneutes Interesse gegeben. Es war ein grosser Schritt vorwärts zum Verständniss der Naturkräfte und der mannigfachen Art, wie sie sich unsern Sinnen offenbaren. Es war für den erleuchteten Naturforscher das, was das Verständniss des Mechanismus der Feuerwaffe oder der Dampfmaschine für den Barbar ist. Erscheinungen, die wir als Wunder anzusehen gewohnt waren, welche einer Erklärung spotteten, sehen wir nun in ganz anderem Lichte. Der Funke einer Induktionsspule, das Glühen einer Glühlampe, die Aeusserungen der mechanischen Kräfte von Strömen und Magneten liegen nicht mehr ausserhalb unseres Fassungsvermögens. Anstatt auf etwas Unbegreifliches wie früher weist ihre Beobachtung nunmehr unsern Geist auf einen einfachen Mechanismus hin, und obwohl wir über dessen genaue Natur nur erst Vermuthungen hegen können, so wissen wir doch, dass die Wahrheit nicht mehr lange verborgen bleiben kann, und fühlen instinktiv das Verständniss in uns aufdämmern. Wir bewundern noch immer diese schönen Phänomene, diese fremdartigen Kräfte, aber wir stehen ihnen nicht mehr hülflos gegenüber, wir können sie bis zu einem gewissen Grade erklären, sie der Rechnung unterziehen und sind voll Hoffnung, dass es schliesslich gelingen werde, das sie umgebende Dunkel ganz zu lichten.

In wie weit wir die Welt um uns her verstehen können, ist der letzte Gedanke eines jeden Erforschers der Natur. Die Rohheit unserer Sinne verhindert uns, die weitere Konstitution der Materie zu erkennen, und die Astronomie, diese erhabenste und positivste der Naturwissenschaften, kann uns nur etwas lehren, was gleichsam in unserer unmittelbaren Nachbarschaft vorgeht; von den entfernteren Theilen des grenzenlosen Universums mit seinen zahllosen Sternen und Sonnen wissen wir nichts. Aber weit hinaus über die Grenzen unserer Sinneswahrnehmung kann uns noch immer der Geist leiten und so dürfen wir hoffen, dass auch diese unbekannten Welten, unendlich kleine wie unendlich grosse, in gewissem Maasse uns bekannt werden können. Doch selbst wenn diese Kenntniss erreicht werden sollte, wird der Forschungsgeist eine vielleicht für immer unübersteigliche Schranke für die wahre Erkenntniss dessen finden, was zu sein scheint, denn die blosse Erscheinungsform ist ja die einzige und schwache Grundlage für unsere ganze Philosophie.

Von allen den Formen der unmessbaren, alles durchdringenden Energie der Natur, welche in fortwährender Aenderung und Bewegung gleich einer Seele das träge Weltall belebt, sind Elektricität und Magne-

tismus vielleicht die anziehendsten. Die Wirkungen der Schwere, der Wärme und des Lichtes beobachten wir täglich; wir werden frühzeitig mit ihnen vertraut und frühzeitig verlieren sie für uns den Charakter des Merkwürdigen und Wunderbaren; aber die Elektricität und der Magnetismus mit ihrer eigenartigen Verwandtschaft, mit ihrem anscheinend dualistischen Charakter, der einzig dasteht unter den Kräften der Natur, mit ihren Erscheinungen der Anziehung, Abstossung und Rotation, alles seltsame Aeusserungen geheimnissvoller Kräfte, reizen den Geist mächtig zum Nachdenken und zu Untersuchungen an. Was ist Elektricität und was ist Magnetismus? Diese Fragen sind immer und immer wieder aufgeworfen worden. Die fähigsten Geister haben sich unaufhörlich mit dem Problem abgemüht und doch ist die Frage bis jetzt nicht vollständig beantwortet worden. Obwohl wir also auch heute noch nicht sagen können, was diese eigenartigen Kräfte sind, haben wir doch einen guten Schritt vorwärts gethan zur Lösung des Problems. Wir sind jetzt überzeugt, dass elektrische und magnetische Erscheinungen dem [illegible]ner zuzuschreiben sind, und wir haben vielleicht nicht Unrecht, wenn wir sagen, dass die Wirkungen der statischen Elektricität Wirkungen des Aethers im Zustande der Spannung und diejenigen der dynamischen Elektricität und des Elektromagnetismus Wirkungen des Aethers im Zustande der Bewegung sind. Dies lässt aber immer noch die Frage unbeantwortet, was Elektricität und Magnetismus wirklich sind.

Zuerst fragen wir natürlich: Was ist Elektricität und giebt es ein Ding Elektricität? Bei der Erklärung elektrischer Erscheinungen können wir von Elektricität oder von einem elektrischen Verhalten, einem elektrischen Zustande oder einer elektrischen Wirkung sprechen. Wenn wir von elektrischen Wirkungen sprechen, müssen wir zwei Arten solcher Wirkungen unterscheiden, welche ihrem Charakter nach entgegengesetzt sind und einander aufheben, da die Beobachtung zeigt, dass zwei solche entgegengesetzte Wirkungen existiren. Dies ist unvermeidlich, denn in einem Medium von den Eigenschaften des Aethers ist es nicht möglich, einen Druck auszuüben oder eine Verschiebung oder Bewegung irgend welcher Art zu erzeugen, ohne in dem umgebenden Medium eine äquivalente und entgegengesetzte Wirkung zu veranlassen. Wenn wir aber von der Elektricität als von einem Dinge sprechen, müssen wir meines Erachtens die Vorstellung zweier Elektricitäten aufgeben, da die Existenz zweier solcher Dinge höchst unwahrscheinlich ist. Denn wie können wir uns zwei Dinge vorstellen, welche ihrem Betrage nach gleichwerthig, gleich in ihren Eigenschaften, aber von entgegengesetztem Charakter sind, beide an der Materie haften, beide anziehend und ein-

ander neutralisirend wirken? Eine solche Annahme, die allerdings durch viele Erscheinungen an die Hand gegeben wird und sehr bequem für deren Erklärung ist, hat wenig Empfehlenswerthes an sich. Wenn es ein solches Ding Elektricität wirklich giebt, so kann es nur ein solches Ding geben und es ist nur ein Ueberschuss oder ein Mangel an diesem einen Dinge möglich; wahrscheinlicher aber ist es, dass seine Beschaffenheit den positiven und negativen Charakter bestimmt. Die alte Theorie von Franklin ist, obwohl sie in mancher Beziehung nicht ausreicht, von einem gewissen Gesichtspunkte aus nach allem die plausibelste. Und doch ist trotzdem die Theorie der beiden Elektricitäten allgemein angenommen, da sie anscheinend die elektrischen Erscheinungen in einer befriedigenderen Weise erklärt. Aber eine Theorie, welche die Thatsachen besser erklärt, ist nicht nothwendiger Weise wahr. Geistreiche Köpfe werden Theorien erfinden, welche sich der Beobachtung anpassen, und fast jeder unabhängige Denker hat seine eigenen Ansichten über den Gegenstand.

Nicht in der Absicht, einer Meinung Geltung zu verschaffen, sondern in dem Wunsche, Sie besser mit einigen der Resultate, welche ich beschreiben will, bekannt zu machen, will ich Ihnen den Gedankengang, dem ich gefolgt bin, und den Ausgangspunkt, den ich genommen habe, darlegen. Ich gestatte mir daher, die Ansichten und Ueberzeugungen, welche mich zu diesen Resultaten geführt haben, mit wenigen Worten auseinanderzusetzen.

Ich neige der Vorstellung zu, dass es ein Ding giebt, welches wir gewohnt sind Elektricität zu nennen. Die Frage ist: Was ist dieses Ding? oder welches von allen Dingen, von deren Existenz wir wissen, können wir mit bestem Grunde Elektricität nennen? Wir wissen, dass es ähnlich wie eine inkompressible Flüssigkeit wirkt; dass davon eine konstant bleibende Menge in der Natur vorhanden sein muss; dass es weder erzeugt noch zerstört werden kann, und dass, was wichtiger ist, die elektromagnetische Theorie des Lichtes und alle beobachteten Thatsachen uns lehren, dass die Erscheinungen der Elektricität und des Aethers identisch sind. Es drängt sich daher sofort der Gedanke von selbst auf, dass Elektricität Aether genannt werden könnte. In der That ist diese Ansicht in gewissem Sinne von Dr. Lodge vertreten worden. Sein interessantes Werk wurde von Jedermann gelesen und viele liessen sich durch seine Argumente überzeugen. Seine grosse Geschicklichkeit und die interessante Natur des Gegenstandes nehmen den Leser zunächst gefangen; wenn aber die Eindrücke sich abgeschwächt haben, merkt man, dass man es nur mit geistreichen Erklärungen zu thun hat. Ich

muss gestehen, dass ich nicht an zwei Elektricitäten, noch weniger an einen Aether von zwiefacher Konstitution glauben kann. Das überraschende Verhalten des Aethers als eines festen Körpers gegenüber Licht- und Wärmewellen und als einer Flüssigkeit gegenüber den sich durch ihn hindurchbewegenden Körpern wird sicher in der natürlichsten und befriedigendsten Weise erklärt durch die Annahme, dass er sich selbst in Bewegung befindet, wie schon von Sir William Thomson angedeutet wurde; aber abgesehen hiervon giebt es nichts, was uns berechtigen würde, mit Sicherheit zu schliessen, dass eine Flüssigkeit, die nicht im Stande wäre, transversale Schwingungen von einigen Hundert oder Tausend per Sekunde zu übertragen, auch nicht im Stande sein könne, solche Schwingungen fortzupflanzen, wenn sie nach Hunderten von Billionen in der Sekunde zählen. Auch kann Niemand beweisen, dass es transversale Aetherwellen giebt, die von einer eine geringe Anzahl von Wechseln per Sekunde gebenden Wechselstrommaschine ausgesandt werden; gegen solche langsamen Störungen kann sich der Aether, wenn er in Ruhe ist, wie eine wirkliche Flüssigkeit verhalten.

Kehren wir zum Gegenstande zurück und erinnern wir uns, dass die Existenz zweier Elektricitäten, gelinde ausgedrückt, höchst unwahrscheinlich ist, so müssen wir sagen, dass wir keinen Nachweis der Elektricität besitzen, noch hoffen können ihn zu erlangen, wenn keine grobe Materie da ist. Elektricität kann daher nicht Aether in dem weiten Sinne des Wortes genannt werden; es scheint aber nichts im Wege zu stehen, die Elektricität Aether in Verbindung mit Materie oder gebundenen Aether zu nennen oder, mit andern Worten, anzunehmen, dass die sogenannte statische Ladung des Moleküls Aether ist, der in gewisser Weise mit dem Molekul verbunden ist. Wenn wir die Sache in diesem Lichte betrachten, würden wir berechtigt sein zu sagen, dass Elektricität bei allen molekularen Wirkungen im Spiele ist.

Was nun aber eigentlich der die Moleküle umgebende Aether ist, und worin er sich vom Aether im Allgemeinen unterscheidet, kann nur vermuthet werden. In der Dichtigkeit kann er sich nicht unterscheiden, da Aether unzusammendrückbar ist; er muss sich daher unter einem gewissen Drucke oder in Bewegung befinden und das letztere ist das wahrscheinlichste. Um seine Funktionen zu verstehen, würde man eine exakte Vorstellung von der physikalischen Konstitution der Materie haben müssen, von der wir uns natürlich nur ein Phantasiebild machen können.

Von allen Naturanschauungen ist indessen diejenige, welche eine Materie und eine Kraft und durchweg vollkommene Gleichförmigkeit annimmt, die wissenschaftlichste und am wahrscheinlichsten richtig.

Eine infinitesimale Welt mit ihren Molekülen und deren Atomen, die sich in ganz gleicher Art wie die Himmelskörper um sich selbst drehen und in Bahnen um einander herum bewegen, Aether mit sich reissen und wahrscheinlich mit sich herumwirbeln oder, mit andern Worten, statische Ladungen mit sich führen, erscheint meinem Verstande als die wahrscheinlichste Vorstellung, welche auch in plausibler Weise die meisten der beobachteten Erscheinungen erklärt. Das Herumwirbeln der Moleküle und ihres Aethers erzeugt die Aetherspannungen oder elektrostatischen Drucke; die Ausgleichung der Aetherspannungen ruft Aetherbewegungen oder elektrische Ströme hervor und die Bewegungen in gewissen Bahnen um einander erzeugen die Wirkungen des Elektromagnetismus und permanenten Magnetismus.

Vor circa fünfzehn Jahren bewies Professor Rowland eine sehr interessante und wichtige Thatsache, nämlich dass eine im Kreise herumgeführte statische Ladung die Wirkungen eines elektrischen Stromes hervorbringt. Lässt man die eigentliche Natur des Mechanismus, welcher die Anziehung und Abstossung der Ströme hervorbringt, ausser Betracht und denkt man sich die elektrostatisch geladenen Moleküle in Bewegung, so giebt uns diese experimentelle Thatsache eine recht gute Vorstellung vom Magnetismus. Wir können uns Kraftlinien oder Kraftröhren denken, welche physikalisch existiren und aus Reihen von gleichgerichteten sich bewegenden Molekülen bestehen; wir können sehen, dass diese Linien geschlossen sein müssen, dass sie sich zu verkürzen und zu erweitern suchen müssen u. s. w. Sie erklärt auch in vernünftiger Weise die seltsamste Erscheinung von allen, nämlich den permanenten Magnetismus, und besitzt überhaupt alle Schönheiten der Ampère'schen Theorie, ohne den Grundfehler derselben zu besitzen, der in der Annahme molekularer Ströme besteht. Ohne mich weiter auf diesen Gegenstand einzulassen, will ich nur bemerken, dass ich alle elektrostatischen, Strom- und magnetischen Erscheinungen als von elektrostatischen molekularen Kräften ausgehend betrachte.

Die vorstehenden Bemerkungen hielt ich für ein völliges Verständniss der Vorstellungen, die ich mir von diesem Gegenstande mache, für nothwendig.

Von allen diesen Erscheinungen sind die Stromphänomene für das Studium die wichtigsten, in Anbetracht der bereits ausgedehnten und stets zunehmenden Verwendung der Ströme für industrielle Zwecke. Es sind jetzt hundert Jahre her, seit die erste praktische Stromquelle hergestellt wurde, und seitdem sind die das Fliessen der Ströme begleitenden Erscheinungen fleissig studirt und dank den unermüdlichen Be-

mühungen der Gelehrten die einfachen Gesetze, denen sie gehorchen, entdeckt worden. Diese Gesetze gelten aber, wie sich herausgestellt hat, nur, wenn die Ströme einen sich gleichbleibenden Charakter haben. Wenn sich die Ströme sehr rasch in ihrer Stärke ändern, so treten ganz verschiedene, oft unerwartete Erscheinungen auf und es gelten ganz verschiedene Gesetze, welche bis jetzt noch nicht so vollständig, wie man wünschen möchte, untersucht worden sind, obschon durch die Arbeiten namentlich englischer Gelehrten hinreichend Licht über den Gegenstand verbreitet wurde, um uns in den Stand zu setzen, einfache Fälle, wie sie jetzt in der täglichen Praxis vorkommen, zu behandeln.

Die Erscheinungen, welche Strömen von schnell wechselndem Charakter eigenthümlich sind, treten weit deutlicher hervor, wenn die Geschwindigkeit der Aenderung zunimmt, daher das Studium dieser Ströme durch die Anwendung passend konstruirter Apparate erheblich erleichtert wird. Aus diesen und aus andern Gründen konstruirte ich Wechselstrommaschinen, welche mehr als zwei Millionen Stromumkehrungen per Minute zu geben vermögen, und hauptsächlich diesem Umstande ist es zu danken, dass ich im Stande bin, Sie mit einigen der bisher erhaltenen Resultate bekannt zu machen, die, wie ich hoffe, in Anbetracht ihrer direkten Bedeutung für eins der wichtigsten Probleme, nämlich die Schaffung einer praktischen und wirksamen Lichtquelle, sich als ein Schritt vorwärts erweisen werden.

Das Studium solcher schnell wechselnden Ströme ist sehr interessant. Fast jedes Experiment offenbart etwas Neues. Manche Resultate konnten natürlich vorausgesagt werden, viel mehr aber liessen sich nicht vorhersehen. Der Experimentator macht viele interessante Beobachtungen. Wir nehmen z. B. ein Stück Eisen und halten es gegen einen Magnet. Gehen wir von wenigen Wechseln aus und lassen die Zahl derselben höher und höher steigen, so fühlen wir, wie die Stromimpulse schneller und schneller einander folgen, dabei schwächer und schwächer werden und schliesslich verschwinden. Wir beobachten dann einen kontinuirlichen Zug; der Zug ist natürlich nicht kontinuirlich, er erscheint uns nur so, weil unser Tastsinn unvollkommen ist.

Ferner können wir zwischen den Elektroden einen Lichtbogen herstellen und beobachten, sobald die Wechsel schneller auf einander folgen, dass der Ton, welcher Wechselstromlichtbogen eigen ist, schriller und schriller wird, dann allmählich schwächer wird und schliesslich ganz aufhört. Die Luftschwingungen dauern natürlich fort, aber dieselben sind zu schwach, um wahrgenommen werden zu können; unser Gehörsinn lässt uns im Stich.

Wir beobachten die geringen physiologischen Wirkungen, die schnelle Erwärmung von Eisenkernen und Leitern, seltsame Induktionserscheinungen, interessante Kondensatorerscheinungen und noch interessantere Lichterscheinungen mit einer Induktionsspule hoher Spannung. Alle diese Versuche und Beobachtungen würden von grösstem Interesse für den Studirenden sein, aber ihre Beschreibung würde mich zu weit von dem Hauptgegenstande abführen. Theils aus diesem Grunde, theils wegen ihrer ungemein grösseren Wichtigkeit werde ich mich auf die Beschreibung der durch diese Ströme hervorgebrachten Lichteffekte beschränken.

Bei den zu diesem Zwecke vorgenommenen Versuchen wurde eine Induktionsspule von hoher Spannung oder ein gleichwerthiger Apparat zur Umwandlung von Strömen von verhältnissmässig niedriger Spannung in solche von hoher Spannung benutzt.

Wenn Sie an den Resultaten ein genügendes Interesse nehmen, will ich Ihnen auseinandersetzen, wie man das experimentelle Studium dieses Gegenstandes anfängt; wenn Sie die Richtigkeit der von mir vorgebrachten Argumente anerkennen, werden Sie selbst gern hohe Frequenzen und hohe Potentiale, mit andern Worten, mächtige elektrostatische Wirkungen erzeugen wollen. Es werden Ihnen dann manche Schwierigkeiten entgegentreten, nach deren völliger Ueberwindung man wahrhaft wunderbare Resultate erlangen würde.

Zuerst tritt einem die Schwierigkeit entgegen, die erforderlichen Frequenzen mittels mechanischer Apparate zu erreichen; und wenn dieselben in anderer Weise erreicht sind, stellen sich wieder Hindernisse anderer Art ein. Zunächst erweist es sich als schwierig, ohne beträchtliche Vergrösserung des Umfanges der Apparate die erforderliche Isolation herzustellen; denn die erforderlichen Spannungen sind hoch und die Isolation bietet infolge der Raschheit der Stromwechsel ganz besondere Schwierigkeiten. So kann z. B. bei Anwesenheit eines Gases die Entladung infolge des Anprallens der Gasmoleküle und der daraus sich ergebenden Erwärmung mehr als einen Zoll tief durch das beste Isolationsmaterial wie Glas, Hartgummi, Porzellan, Siegellack u. s. w. hindurchdringen, thatsächlich durch jede bekannte isolirende Substanz. Das Haupterforderniss bei der Isolation der Apparate ist daher die Ausschliessung jeder gasartigen Masse.

Im Allgemeinen weist meine Erfahrung darauf hin, dass Körper, welche die höchste specifische Induktionskapacität besitzen, wie z. B. Glas, eine etwas geringere Isolation geben als andere, welche zwar gute Isolatoren sind, aber eine viel geringere specifische Induktionskapacität

haben, wie beispielsweise Oele, da die dielektrischen Verluste bei ersteren ohne Zweifel grösser sind. Die Schwierigkeit der Isolirung besteht natürlich nur, wenn die Spannungen ausserordentlich hoch sind, denn bei Spannungen von etwa einigen Tausend Volt macht es keine besondern Schwierigkeiten, Ströme von einer Maschine, die etwa 20000 Wechsel per Sekunde giebt, auf eine ziemliche Entfernung fortzuleiten. Diese Wechselzahl ist indessen für viele Zwecke viel zu klein, wenn auch für manche praktischen Anwendungen völlig ausreichend. Diese Schwierigkeit der Isolirung ist glücklicherweise kein wesentliches Hinderniss; sie beeinflusst hauptsächlich die Grösse der Apparate, da man, wenn ausserordentlich hohe Spannungen angewendet werden sollen, die Beleuchtungskörper nicht weit von dem Apparate aufstellen würde, und oft würden sich dieselben ganz dicht bei diesem befinden. Da das Bombardement des isolirten Drahtes durch die Luftmoleküle von einer Kondensatorwirkung abhängt, so würde der Verlust auf eine Kleinigkeit reducirt werden können, wenn man äusserst dünne, aber stark isolirte Drähte verwendete.

Noch eine andere Schwierigkeit bereitet die Kapacität und Selbstinduktion, welche die Spule nothwendigerweise besitzt. Ist die Spule gross, d. h. enthält sie eine grosse Drahtlänge, so ist sie im Allgemeinen für äusserst hohe Frequenzen ungeeignet; ist sie klein, so ist sie allerdings für derartige Frequenzen gut geeignet, aber die Spannung könnte dann nicht so hoch, wie erforderlich ist, sein. Ein guter Isolator und hauptsächlich einer, der nur geringe specifische Induktionskapacität besitzt, würde aus doppeltem Grunde vortheilhaft sein. Erstens setzt er uns in den Stand, eine sehr kleine Spule herzustellen, welche enormen Spannungsdifferenzen zu widerstehen vermag, und zweitens ist eine solche kleine Spule wegen ihrer geringeren Kapacität und Selbstinduktion schnellerer und kräftigerer Schwingungen fähig. Ich betrachte daher das Problem, eine Spule oder einen Induktionsapparat irgend welcher Art, welcher die gewünschte Eigenschaft besitzt, zu konstruiren, als ein nicht unwichtiges, und ich habe mich beträchtliche Zeit hindurch mit ihm beschäftigt.

Der Forscher, welcher die von mir zu beschreibenden Versuche mit einer Wechselstrommaschine, die Ströme von der gewünschten Frequenz zu liefern vermag, und mit einer Induktionsspule wiederholen will, wird gut thun, die primäre Spule ausschaltbar anzuordnen und die sekundäre Spule so zu montiren, dass er durch den Cylinder, auf welchen die sekundäre Spule gewickelt ist, hindurchsehen kann. Er wird dann die Strömungen beobachten können, welche von der primären Spule zu

dem isolirenden Cylinder übergehen, und aus ihrer Intensität erkennen, wie weit er die Spule anstrengen kann. Ohne diese Vorsicht kann er sicher sein, dass er die Isolation beschädigt. Diese Anordnung gestattet überdies eine leichte Auswechselung der Primärspulen, die bei diesen Versuchen wünschenswerth ist.

Die Auswahl der Maschinentype, welche für den Zweck am geeignetsten ist, muss dem Ermessen des Experimentators überlassen bleiben. Es sind hier drei verschiedene Maschinentypen abgebildet, die ich neben andern bei meinen Versuchen benutzt habe.

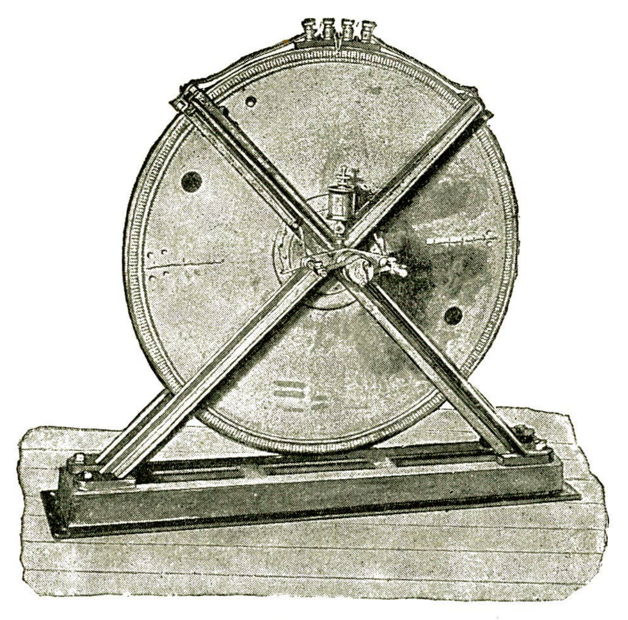


Fig. 97.

Fig. 97 stellt die bei meinen Versuchen vor diesem Institute benutzte Maschine dar. Der Feldmagnet besteht aus einem schmiedeeisernen Ringe mit 384 Polvorsprüngen. Der Anker besteht aus einer Stahlscheibe, an welcher ein dünner, sorgfältig zusammen geschweisster Kranz aus Schmiedeeisen befestigt ist. Auf den Kranz sind mehrere Lagen eines feinen, gut ausgeglühten Eisendrahtes aufgewunden, welcher während des Aufwindens durch ein Schellackbad hindurchläuft. Die mit Seide besponnenen Ankerdrähte sind um Messingstifte gewickelt. Der Durchmesser des Ankerdrahtes bei dieser Maschinentype sollte nicht mehr als $^1/_6$ der Dicke der Polvorsprünge betragen, da sonst die lokale Wirkung erheblich ist.

Fig. 98 stellt eine grössere Maschine einer anderen Type dar. Der Feldmagnet dieser Maschine besteht aus zwei gleichen Theilen, deren jeder eine Erregungsspule enthält oder die unabhängig gewickelt sind. Jeder Theil hat 480 Polansätze, und zwar stehen die Polansätze des einen Theils denen des andern gegenüber. Der Anker besteht aus einem Rade aus harter Bronce, welches die Leiter trägt, die zwischen den Vorsprüngen des Feldmagneten rotiren. Um die Ankerleiter zu wickeln, verfährt man nach meiner Erfahrung am zweckmässigsten in

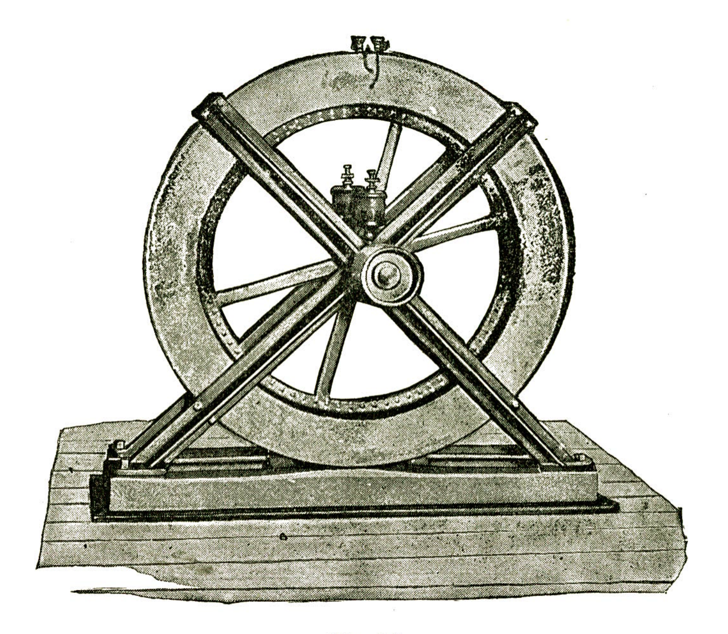


Fig. 98.

der folgenden Weise. Man stellt einen Ring aus harter Bronce von der gewünschten Grösse her. Dieser Ring und der Kranz des Rades werden mit der passenden Anzahl von Stiften versehen und beide auf einer Platte befestigt. Nachdem die Ankerleiter gewickelt sind, werden die Stifte abgeschnitten und die Enden der Leiter an zwei Ringen befestigt, welche an dem Broncering bezw. an dem Radkranze festgeschraubt werden. Das Ganze kann dann abgenommen werden und bildet ein festes Gefüge. Die Leiter bei einer solchen Maschinentype sollen aus Kupferblech bestehen, dessen Dicke natürlich von der Dicke der Polansätze abhängt, oder sonst sind geflochtene dünne Drähte anzuwenden.

Fig. 99 ist eine kleinere Maschine, welche in vielen Beziehungen der ersten ähnlich ist, nur sind hier die Ankerleiter und die Erregungsspule stationär, während nur ein schmiedeeiserner Block rotirt wird.

Es würde zwecklos sein, diese Beschreibung weiter auszudehnen und die Konstruktionsdetails dieser Maschinen hier ausführlicher anzugeben. Dieselben sind überdies in „The Electrical Engineer" vom 18. März 1891 näher beschrieben worden. Ich erachte es aber für zweckmässig, die Aufmerksamkeit des Forschers auf zwei Dinge zu lenken, deren Wichtigkeit er, trotzdem dieselbe von selbst einleuchtet, doch leicht unterschätzt; ich meine die lokale Wirkung in den Leitern, welche sorgfältig vermieden werden muss, und den Luftraum, der nur gering

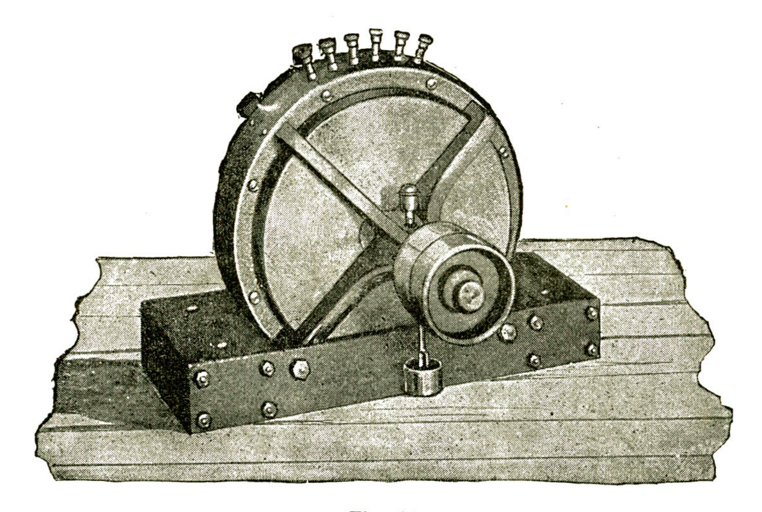


Fig. 99.

sein darf. Ich will hinzufügen, dass, da es wünschenswerth ist, sehr hohe Umfangsgeschwindigkeiten zu verwenden, der Durchmesser des Ankers sehr gross sein sollte, um unpraktische Riemengeschwindigkeiten zu vermeiden. Von den verschiedenen Typen dieser Maschinen, welche von mir konstruirt wurden, hat mir die in Fig. 97 dargestellte Maschine die wenigsten Schwierigkeiten bereitet sowohl bei der Konstruktion wie bei der Instandhaltung, und im Ganzen genommen ist sie eine gute Versuchsmaschine gewesen.

Beim Betriebe einer Induktionsspule mit sehr rasch wechselnden Strömen erregen unter den Lichterscheinungen, die man zunächst beobachtet, natürlich diejenigen besonderes Interesse, welche durch die Hochspannungsentladung veranlasst werden. In dem Maasse wie die

Zahl der Wechsel per Sekunde zunimmt oder — bei hohen Wechselzahlen — der durch die Primärspule gehende Strom variirt wird, ändert die Entladung allmählich ihr Aussehen. Es würde schwer sein, die geringeren Aenderungen, welche auftreten, und die Bedingungen, unter denen sie zu Stande kommen, zu beschreiben; man kann jedoch fünf deutlich verschiedene Formen der Entladung wahrnehmen.

Zunächst kann man eine schwache empfindliche Entladung in der Form eines dünnen, schwach gefärbten Fadens beobachten (Fig. 100a). Dieselbe tritt immer auf, wenn die Zahl der Wechsel per Sekunde hoch und der Strom durch die Primärspule sehr schwach ist. Trotz des ausserordentlich schwachen Stromes ist das Aenderungsverhältniss des Stromes gross und die Spannungsdifferenz an den Klemmen der Sekundärspule daher beträchtlich, so dass der Lichtbogen auf grosse Entfernungen hin zu Stande kommt; die in Bewegung gesetzte Elektrici-

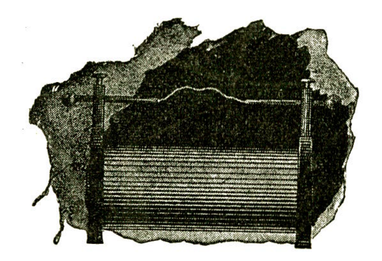


Fig. 100a.

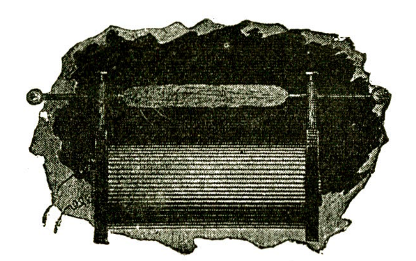


Fig. 100b.

tätsmenge ist jedoch unbedeutend und kaum ausreichend, um einen dünnen fadenförmigen Bogen zu bilden. Derselbe ist ausserordentlich empfindlich und diese Empfindlichkeit kann so sehr gesteigert werden, dass das blosse Athmen in der Nähe der Spule ihn beeinflusst und derselbe beständig umherflackert, wenn er nicht vollständig gegen Luftströmungen geschützt ist. Dessenungeachtet ist er in dieser Form äusserst andauernd, und wenn die Pole einander auf etwa ein Drittel der Funkenweite genähert werden, so lässt er sich nur schwer ausblasen. Diese ausnahmsweise Dauerhaftigkeit bei geringer Länge rührt hauptsächlich davon her, dass der Bogen äusserst dünn ist und daher dem Luftzuge eine sehr geringe Fläche darbietet. Die grosse Empfindlichkeit des Lichtbogens bei sehr grosser Länge ist wahrscheinlich der Bewegung der in der Luft schwebenden Staubtheilchen zuzuschreiben.

Wenn der durch die primäre Spule fliessende Strom verstärkt wird, so nimmt die Entladung an Breite und Stärke zu und die Wirkung der Kapacität der Spule wird sichtbar, bis schliesslich unter geeigneten

Bedingungen ein weisser, oft fingerdicker und über die ganze Spule hinweg schlagender Flammenbogen erzeugt wird (Fig. 100 b). Derselbe entwickelt eine deutlich wahrnehmbare Wärme und ist ferner noch durch das Fehlen des hohen Tones, welcher die weniger kräftigen Entladungen begleitet, charakterisirt. Es würde nicht rathsam sein, sich einem Schlage der Spule unter diesen Verhältnissen auszusetzen, obwohl man unter andern Bedingungen, wo die Spannung viel höher ist, einen Schlag von der Spule ungestraft erhalten kann. Um diese Art von Entladung hervorzubringen, darf die Anzahl der Stromwechsel per Sekunde für die benutzte Spule nicht zu gross sein und es müssen, allgemein gesprochen, gewisse Beziehungen zwischen Kapacität, Selbstinduktion und Frequenz innegehalten werden.

Die Wichtigkeit dieser Elemente bei einem Wechselstromkreis ist zur Zeit wohlbekannt und unter gewöhnlichen Verhältnissen sind die allgemeinen Regeln anwendbar. Bei einer Induktionsspule herrschen aber ausnahmsweise Zustände. Zunächst ist die Selbstinduktion von geringer Bedeutung, bevor sich der Bogen gebildet hat, dann aber macht sie sich bemerklich, jedoch wohl niemals in so hervorragendem Maasse wie in gewöhnlichen Wechselstromkreisen, weil die Kapacität über die ganze Spule vertheilt ist und die Spule sich gewöhnlich durch sehr grosse Widerstände entladet, so dass die Ströme ausserordentlich gering sind. Ferner nimmt die Kapacität mit wachsender Spannung beständig zu, infolge der Absorption, welche in beträchtlichem Umfange stattfindet. Infolgedessen besteht zwischen diesen Grössen keine kritische Beziehung und die gewöhnlichen Regeln dürften kaum anwendbar sein. In dem Maasse wie die Spannung wächst entweder infolge der vermehrten Frequenz oder des verstärkten Stromes durch die Primärspule, wird der Betrag der aufgespeicherten Energie grösser und grösser und die Kapacität gewinnt mehr und mehr an Wichtigkeit. Bis zu einem gewissen Punkte ist die Kapacität vortheilhaft, darüber hinaus aber beginnt sie ein mächtiges Hinderniss zu werden. Es ergiebt sich hieraus, dass jede Spule bei einer gewissen Frequenz und einem gewissen primären Strom die besten Resultate giebt. Eine sehr grosse Spule kann, wenn mit Strömen von sehr hoher Frequenz betrieben, Funken von höchstens 3—4 mm geben. Fügt man an den Polen Kapacität hinzu, so lässt sich die Sachlage verbessern, was aber der Spule in Wirklichkeit fehlt, ist eine niedrigere Frequenz.

Wenn die flammende Entladung eintritt, sind die Verhältnisse offenbar derart, dass der stärkste Strom durch den Stromkreis gesandt wird. Diese Verhältnisse können durch Veränderung der Frequenz inner-

halb weiter Grenzen herbeigeführt werden, die höchste Frequenz aber, bei welcher der Flammenbogen noch hervorgebracht werden kann, bestimmt bei gegebenem Primärstrom die maximale Schlagweite der Spule. Bei der flammenden Entladung ist die auffällige Wirkung der Kapacität nicht wahrnehmbar; die Geschwindigkeit, mit welcher die Energie aufgespeichert wird, ist dann gerade gleich der Geschwindigkeit, mit welcher dieselbe in dem ganzen Stromkreis verwendet werden kann. Diese Art der Entladung ist die strengste Probe für eine Spule; das Durchschlagen, wenn ein solches eintritt, ist von ganz ähnlicher Beschaffenheit wie bei einer überladenen Leydener Flasche. Um nur eine annähernde Angabe zu machen, will ich anführen, dass bei einer gewöhnlichen Spule von etwa 10 000 Ohm Widerstand der mächtigste Lichtbogen bei ca. 12 000 Wechseln per Sekunde hervorgebracht werden würde.

Wenn die Frequenz über diese Zahl hinaus vermehrt wird, steigt natürlich die Spannung, trotzdem aber kann, so paradox dies scheinen mag, die Schlagweite abnehmen. In dem Maasse wie die Spannung höher wird, nimmt die Spule mehr und mehr die Eigenschaften einer statischen Maschine an, bis man schliesslich die schöne Erscheinung der Büschelentladung (Fig. 101) beobachtet, die sich über die ganze Länge der Spule erstrecken kann. In diesem Stadium beginnen von allen Spitzen und Vorsprüngen Lichtströme frei herauszutreten. Diese Lichtbüschel sieht man auch in dem Raume zwischen der primären Spule und der isolirenden Röhre in Fülle übertreten. Ist die Spannung ausserordentlich hoch, so treten dieselben immer auf, auch wenn die Frequenz gering ist, und selbst dann, wenn die Primärspule von einer zolldicken Schicht von Wachs, Hartgummi, Glas oder einer andern isolirenden Substanz umgeben ist. Dies beschränkt die Leistungsfähigkeit der Spule erheblich, ich werde aber später zeigen, wie ich im Stande gewesen bin, diesen Uebelstand bei der gewöhnlichen Spule in beträchtlichem Maasse zu überwinden.

Ausser von der Spannung hängt die Intensität der Lichtbüschel von der Frequenz ab; wenn aber die Spule sehr gross ist, so zeigen sie sich, wie gering auch die benutzten Frequenzen sein mögen. Z. B. traten dieselben bei einer sehr grossen, von mir vor einiger Zeit verfertigten Spule von 67 000 Ohm Widerstand schon bei 100 Wechseln per Sekunde und weniger auf, wobei die Isolation der Sekundärspule aus 19 mm starkem Ebonit bestand. Sind die Ströme sehr intensiv, so erzeugen sie ein Geräusch, welches dem beim Laden einer Holtz'schen Maschine entstehenden ähnlich, aber viel stärker als dieses ist, und sie entwickeln einen starken Ozongeruch. Je geringer die Frequenz ist,

desto eher sind sie im Stande, die Spule plötzlich zu beschädigen. Bei ausserordentlich hohen Frequenzen können sie frei übertreten, ohne irgend eine andere Wirkung hervorzubringen, als dass sie die Isolation langsam und gleichmässig erwärmen.

Das Vorhandensein solcher Büschelentladungen zeigt, wie wichtig es ist, eine theuere Spule so herzustellen, dass man durch die die Primärspule umgebende Röhre hindurchsehen kann, auch sollte die Primärspule leicht auswechselbar sein; oder sonst sollte der Raum zwischen der primären und sekundären Spule mit Isolirmaterial so vollständig ausgefüllt sein, dass alle Luft ausgeschlossen ist. Die Nichtbeobachtung dieser einfachen Regel bei der Herstellung der im Handel befindlichen Spulen trägt die Schuld an der Zerstörung mancher kostbaren Spule.

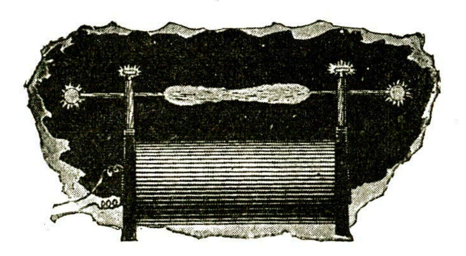


Fig. 101.

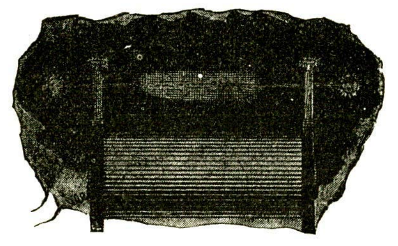


Fig. 102.

In dem Stadium, wo die Büschelentladung eintritt, oder bei etwas höheren Frequenzen, kann man, indem man die Pole einander nähert und die Wirkung der Kapacität zweckmässig regulirt, einen wahren Sprühregen von kleinen silberweissen Funken oder ein Bündel von äusserst dünnen silberfarbigen Fäden mitten in einem kräftigen Büschel (Fig. 102) hervorbringen, wobei jeder Funke oder Faden möglicher Weise einem Stromwechsel entspricht. Unter geeigneten Umständen hervorgebracht, ist dies wahrscheinlich die schönste Entladung, und bietet, wenn ein Luftstrom gegen sie gerichtet wird, ein eigenartiges Aussehen dar. Der Funkenregen verursacht, wenn man ihn durch den Körper gehen lässt, einiges Unbehagen, während bei der einfach strömenden Entladung nichts derartiges gefühlt wird, falls man in den Händen grosse Leiterstücke hält, um dieselben vor kleinen Brandwunden zu schützen.

Wird die Frequenz noch weiter vermehrt, so giebt die Spule keinen Funken mehr ausser bei verhältnissmässig kleinen Entfernungen, und man kann die fünfte typische Form der Entladung beobachten (Fig. 103).

Die Tendenz des Ausströmens und Sichzerstreuens ist dann so stark, dass, wenn das Büschel an der einen Elektrode erzeugt wird, kein Funke entsteht, selbst wenn, wie ich wiederholt versucht habe, die Hand oder irgend ein anderer leitender Gegenstand in die Strömung hineingehalten wird; und was noch seltsamer ist, der Lichtstrom wird durch die Annäherung eines leitenden Körpers überhaupt nicht leicht abgelenkt.

In diesem Stadium gehen die Ströme scheinbar mit der grössten Bequemlichkeit durch Isolatoren von erheblicher Dicke hindurch und es ist besonders interessant, ihr Verhalten zu studiren. Zu diesem Zwecke empfiehlt es sich, mit den Enden der Spule zwei metallische Kugeln zu verbinden, die man in jede beliebige Entfernung zu einander bringen kann (Fig. 104). Kugeln verdienen den Vorzug vor Platten,

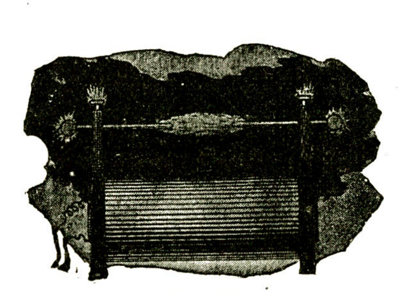


Fig. 103.

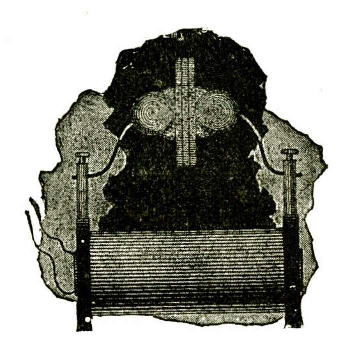


Fig. 104.

da die Entladung besser beobachtet werden kann. Durch Einschiebung dielektrischer Körper zwischen die Kugeln lassen sich prachtvolle Entladungserscheinungen beobachten. Sind die Kugeln dicht an einander und spielt ein Funke zwischen ihnen, so hört der Funke nach Zwischenlegung einer dünnen Ebonitplatte zwischen die Kugeln augenblicklich auf, und die Entladung breitet sich zu einem intensiv leuchtenden Kreise von mehreren Zoll Durchmesser aus, vorausgesetzt, dass die Kugeln hinreichend gross sind. Der Durchgang der Ströme erwärmt und erweicht nach einer Weile den Ebonit so sehr, dass in dieser Weise zwei Platten zusammengeschweisst werden können. Sind die Kugeln so weit aus einander, dass kein Funken entsteht, so wird die Entladung, selbst wenn die Kugeln weit über die Schlagweite hinaus von einander entfernt sind, durch Einschiebung einer dicken Glasplatte sofort veranlasst, von den Kugeln zu dem Glas in Form leuchtender Ströme überzugehen. Es hat fast den Anschein, als ob diese Ströme durch das Dielektrikum hindurch gingen. In Wirklichkeit ist dies nicht der Fall,

da die Strömungen von den Luftmolekülen herrühren, welche in dem Raume zwischen den entgegengesetzt geladenen Flächen der Kugeln in heftige Bewegung versetzt werden. Ist kein anderes Dielektrikum weiter als Luft vorhanden, so findet das Bombardement ebenfalls statt, aber dasselbe ist zu schwach, um sichtbar zu sein. Durch Einschiebung eines Dielektrikums wird die induktive Wirkung verstärkt und überdies finden die fortgeschleuderten Luftmoleküle ein Hinderniss und das Bombardement wird so intensiv, dass die Ströme leuchtend werden. Könnten wir durch irgend ein mechanisches Mittel eine solche heftige Bewegung der Moleküle hervorbringen, so würden wir dieselbe Erscheinung hervorrufen können. Ein Luftstrom, welcher aus einer kleinen Oeffnung unter enormem Druck herausströmt und gegen eine isolirende Substanz wie z. B. Glas trifft, kann im Dunkeln leuchtend werden, und es würde möglich sein, auf diese Weise eine Phosphorescenz des Glases oder anderer Isolatoren hervorzubringen.

Je grösser die specifische Induktionskapacität des zwischengeschalteten Dielektrikums ist, um so mächtiger ist die erzeugte Wirkung. Infolgedessen treten die Strömungen bei äusserst hohen Spannungen, selbst wenn das Glas 40—50 mm dick ist, auf. Aber ausser der von dem Bombardement herrührenden Erwärmung entsteht unzweifelhaft in dem Dielektrikum etwas Wärme, die anscheinend im Glas grösser ist als im Ebonit. Ich schreibe dies der grösseren specifischen Induktionskapacität des Glases zu, infolge deren bei derselben Spannungsdifferenz ein grösserer Energiebetrag aufgenommen wird als im Ebonit. Die Sache verhält sich ähnlich, wie wenn man mit einer Batterie einen Kupfer- und einen Messingdraht von gleichen Dimensionen verbindet. Der Kupferdraht, der doch ein vollkommenerer Leiter ist, erwärmt sich deshalb mehr, weil er mehr Strom aufnimmt. Es ist also das, was man sonst als einen Vorzug des Glases betrachtet, hier ein Mangel. Glas giebt gewöhnlich viel schneller nach als Ebonit; wird dasselbe bis zu einem gewissen Grade erwärmt, so schlägt die Entladung plötzlich an einer Stelle durch und nimmt dann die gewöhnliche Form eines Bogens an.

Die durch das molekulare Bombardement des Dielektrikums erzeugte Wärmewirkung nimmt natürlich ab, sobald der Luftdruck zunimmt, und bei enormem Luftdrucke würde sie vernachlässigt werden können, wofern nicht die Frequenz entsprechend zunähme.

Es wird bei diesen Versuchen oft beobachtet, dass, wenn die Kugeln sich jenseits der Schlagweite befinden, durch die Annäherung z. B. einer Glasplatte bewirkt werden kann, dass der Funke zwischen den Kugeln überspringt. Dies tritt ein, wenn die Kapacität der Kugeln

sich etwas unterhalb des kritischen Werthes befindet, welcher die grösste Spannungsdifferenz an den Polen der Spule liefert. Durch Annäherung eines Dielektrikums wird die specifische Induktionskapacität des Raumes zwischen den Kugeln vergrössert, was dieselbe Wirkung hervorbringt, als wenn die Kapacität der Kugeln vergrössert würde. Die Spannung an den Polen kann dann so hoch steigen, dass der Luftraum durchbrochen wird. Der Versuch wird am besten mit dichtem Glas oder mit Glimmer ausgeführt.

Eine andere interessante Beobachtung ist die, dass eine Platte aus isolirendem Material, sobald die Entladung durch sie hindurchgeht, von einer der beiden Kugeln, und zwar von der näher liegenden, stark angezogen wird, was augenscheinlich von dem geringeren mechanischen Effekt des Bombardements auf dieser Seite und vielleicht auch von der grösseren Elektrisirung herrührt.

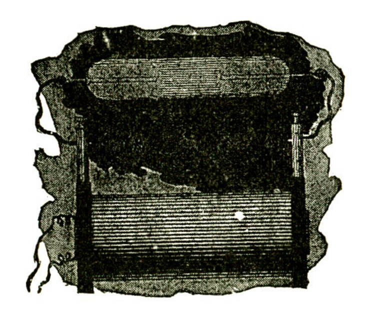
Aus dem Verhalten der Dielektrika bei diesen Versuchen können wir schliessen, dass der beste Isolator für diese rasch wechselnden Ströme derjenige sein würde, welcher die geringste specifische Induktionskapacität besitzt und gleichzeitig im Stande ist, den grössten Spannungsdifferenzen zu widerstehen. Es ergeben sich daher zwei diametral entgegengesetzte Wege, um die gewünschte Isolation zu erhalten, nämlich entweder die Verwendung eines vollkommenen Vakuums oder eines Gases unter hohem Druck; das erstere ist indessen vorzuziehen. Leider aber ist keines dieser beiden Mittel in der Praxis leicht anwendbar.

Es ist besonders interessant, das Verhalten eines äusserst hohen Vakuums bei diesen Versuchen zu beobachten. Wenn eine Versuchsröhre, welche mit äusseren Elektroden versehen und bis zum höchstmöglichen Grade luftleer gemacht ist, mit den Enden der Spule (Fig. 105) verbunden wird, so nehmen die Elektroden der Röhre augenblicklich eine hohe Temperatur an, und das Glas an jedem Ende der Röhre wird intensiv phosphorescirend, die Mitte aber erscheint verhältnissmässig dunkel und bleibt eine Zeit lang kalt.

Ist die Frequenz so hoch, dass die in Fig. 103 dargestellte Entladung beobachtet wird, so findet zweifellos in der Spule eine erhebliche Energiezerstreuung statt. Trotzdem kann die Spule eine lange Zeit in Thätigkeit sein, da die Erwärmung eine sehr allmähliche ist.

Trotz des Umstandes, dass die Spannungsdifferenz enorm sein kann, fühlt man doch nur wenig, wenn die Entladung durch den Körper geht, vorausgesetzt dass die Hände armirt sind. Dies hat bis zu gewissem Grade in der höheren Frequenz seinen Grund, hauptsächlich

aber in dem Umstande, dass äusserlich weniger Energie verfügbar ist, wenn die Spannungsdifferenz einen enormen Werth erreicht; dies rührt davon her, dass bei steigender Spannung die in der Spule absorbirte Energie wie das Quadrat der Spannung zunimmt. Bis zu einem gewissen Punkte nimmt die aussen verfügbare Energie mit steigender Spannung zu, darauf beginnt sie schnell abzufallen. Es besteht daher bei den gewöhnlichen Induktionsspulen hoher Spannung das seltsame Paradoxon, dass, während bei einem gegebenen durch die Primärspule fliessenden Strome der Schlag tödtlich sein würde, derselbe bei einem



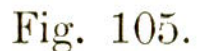


Fig. 105.

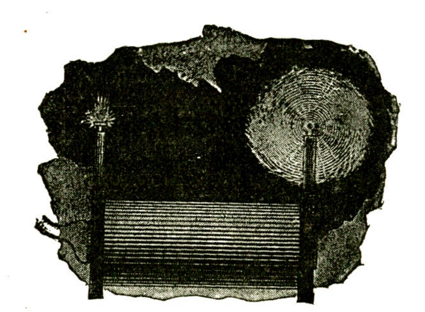


Fig. 106.

vielmal so starken Strome vollkommen harmlos sein könnte, selbst wenn die Frequenz dieselbe bliebe. Bei hohen Frequenzen und ausserordentlich hohen Spannungen wird, wenn die Polen nicht mit Körpern von einigem Umfange verbunden sind, praktisch die gesammte in die Primärspule gelieferte Energie von der Spule aufgenommen. Es findet kein Durchschlagen, keine lokale Beschädigung statt, aber das gesammte isolirende wie leitende Material wird gleichmässig erwärmt.

Um Missverständnisse bezüglich der physiologischen Wirkung der Wechselströme von sehr hoher Frequenz zu vermeiden, halte ich es für nothwendig anzuführen, dass man, trotzdem es eine unleugbare Thatsache ist, dass sie unvergleichlich weniger gefährlich sind als Ströme von niedrigeren Frequenzen, doch nicht glauben darf, sie seien ganz und gar harmlos. Was eben gesagt wurde, bezieht sich nur auf Ströme von einer gewöhnlichen Induktionsspule hoher Spannung, Ströme, die nothwendig sehr klein sind; wenn dieselben direkt von einer Maschine oder von einer Sekundärspule von geringem Widerstande kommen, so bringen sie mehr oder weniger kräftige Wirkungen hervor und können ernste Beschädigungen zur Folge haben, besonders wenn sie in Verbindung mit Kondensatoren benutzt werden.

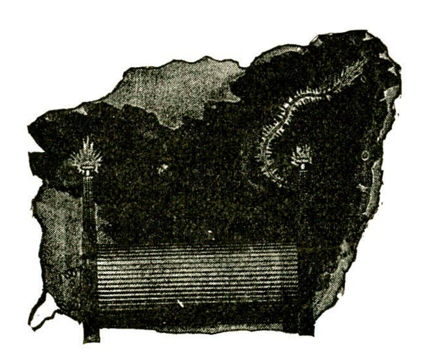
Die Büschelentladung einer Induktionsspule hoher Spannung unterscheidet sich in vielen Beziehungen von derjenigen einer kräftigen statischen Maschine. In Bezug auf die Farbe besitzt sie weder das Violett der positiven, noch den weissen Glanz der negativen statischen Entladung, sondern liegt irgendwo zwischen beiden, und zwar natürlich abwechselnd mehr nach der positiven oder mehr nach der negativen Seite. Da aber die Strömung mächtiger ist, wenn die Spitze oder Klemme positiv elektrisch, als wenn sie negativ elektrisch ist, so folgt, dass die Spitze des Büschels mehr der positiven und das Stammende mehr der negativen statischen Entladung gleicht. Im Dunkeln erscheint, falls das Büschel sehr stark entwickelt ist, das Stammende fast weiss. Der durch die entweichenden Ströme verursachte Wind kann zwar mitunter sehr stark sein, so stark in der That, dass er in ziemlicher Entfernung von der Spule verspürt werden kann, trotzdem ist er aber in Anbetracht der Menge der Entladung geringer als der durch die positive Elektrode einer statischen Maschine erzeugte, und beeinflusst die Flamme viel weniger stark. Aus der Natur der Erscheinung können wir folgern, dass natürlich der von den Strömen hervorgebrachte Wind um so schwächer ist, je höher die Frequenz ist, und bei genügend hohen Frequenzen würde bei dem gewöhnlichen atmosphärischen Drucke überhaupt kein Wind erzeugt werden. Bei Frequenzen, wie sie mittels einer Maschine erhalten werden können, ist der mechanische Effekt gross genug, um grosse Nadelräder mit beträchtlicher Geschwindigkeit zu drehen, was im Dunkeln infolge der zahlreichen Ausströmungen einen prächtigen Anblick gewährt (Fig. 106).

Im Allgemeinen können die meisten der Versuche, die man gewöhnlich mit einer statischen Maschine ausführt, auch mit einer Induktionsspule angestellt werden, wenn letztere mit sehr rasch wechselnden Strömen betrieben wird. Die erzeugten Effekte aber sind, weil von unvergleichlich grösserer Stärke, viel überraschender. Wenn ein kurzes Stück gewöhnlichen mit Baumwolle besponnenen Drahtes (Fig. 107) an der einen Klemme der Spule befestigt wird, so können die von allen Punkten des Drahtes ausgehenden Strömungen so intensiv sein, dass sie eine erhebliche Lichtwirkung hervorbringen. Sind die Spannungen und Frequenzen sehr hoch, so scheint ein mit Guttapercha oder Kautschuk isolirter Draht, der an einer der Klemmen befestigt ist, mit einer leuchtenden Schicht bedeckt zu sein. Ein sehr dünner nackter Draht, der an einer Klemme befestigt ist, sendet mächtige Strömungen aus und vibrirt beständig hin und her oder schwingt im Kreise umher, wodurch ein eigenartiger Effekt erzeugt wird (Fig. 108). Einige dieser Versuche

sind von mir in „The Electrical World“ vom 21. Februar 1891 beschrieben worden.

Eine andere Eigenthümlichkeit der rasch wechselnden Entladung einer Induktionsspule ist ihr völlig abweichendes Verhalten in Bezug auf Spitzen und abgerundete Flächen.

Wenn ein dicker Draht, der am einen Ende mit einer Kugel und am andern Ende mit einer Spitze versehen ist, an dem positiven Pole einer statischen Maschine befestigt wird, so geht praktisch die ganze Ladung durch die Spitze verloren wegen der ungeheuer viel grösseren Spannung, die vom Krümmungsradius abhängig ist. Wird aber ein solcher Draht an einer der Klemmen der Induktionsspule angebracht, so beobachtet man, dass bei sehr hohen Frequenzen von der Kugel fast ebenso reichlich Strömungen ausgehen, wie von der Spitze (Fig. 109).



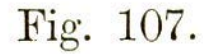


Fig. 107.

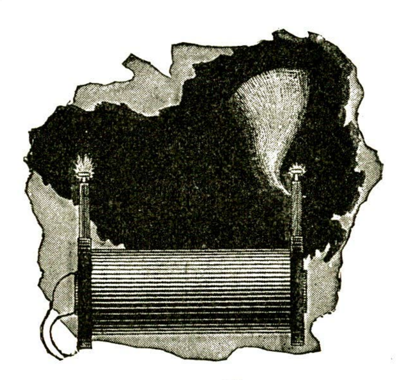


Fig. 108.

Es ist kaum denkbar, dass man bei einer statischen Maschine einen solchen Zustand in gleichem Grade hervorbringen könnte, aus dem einfachen Grunde, weil die Spannung zunimmt wie das Quadrat der Dichtigkeit, welche ihrerseits dem Krümmungsradius proportional ist; es würde daher bei einem konstanten Potential eine enorme Ladung erforderlich sein, um von einer polirten Kugel, während sie mit einer Spitze verbunden ist, Strömungen austreten zu lassen. Bei einer Induktionsspule aber, deren Ladung mit grosser Schnelligkeit wechselt, ist die Sache anders. Hier haben wir es mit zwei verschiedenen Tendenzen zu thun. Erstens besteht diejenige Tendenz zu entweichen, welche bei einem Ruhezustande vorhanden ist und die vom Krümmungsradius abhängt; zweitens besteht die Tendenz, sich in die umgebende Luft zu zerstreuen infolge einer Kondensatorwirkung, welche von der Oberfläche abhängt. Wenn eine dieser Tendenzen ein Maximum ist, ist die andere ein Mini-

mum. Bei der Spitze rührt die Lichtströmung hauptsächlich von den Luftmolekülen her, die mit der Spitze in wirkliche Berührung kommen; dieselben werden angezogen und abgestossen, geladen und entladen, und nachdem ihre atomischen Ladungen auf solche Weise gestört sind, schwingen sie und senden Lichtwellen aus. Bei der Kugel dagegen wird zweifellos die Wirkung zum grossen Theile durch Induktion hervorgebracht, da die Luftmoleküle nicht nothwendig mit der Kugel in Berührung kommen, obwohl dies zweifellos auch geschieht. Um uns hiervon zu überzeugen, brauchen wir nur die Kondensatorwirkung zu erhöhen, z. B. dadurch, dass wir die Kugel in einiger Entfernung mit einem besseren Leiter, als das umgebende Medium ist, umhüllen, wobei natürlich der Leiter zu isoliren ist, oder dadurch, dass wir sie mit einem besseren Dielektrikum umgeben und ihr einen isolirten Leiter

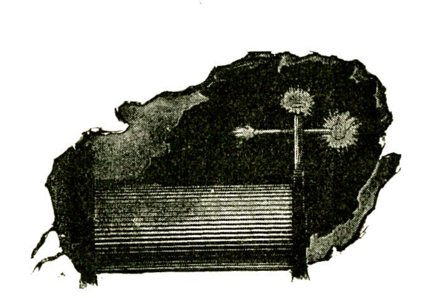


Fig. 109.

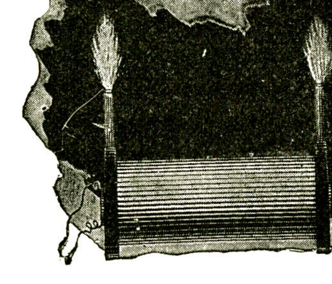


Fig. 110.

nähern; in beiden Fällen werden die Ströme reichlicher hervorbrechen. Je grösser ferner die Kugel bei gegebener Frequenz ist, oder je höher die Frequenz ist, um so mehr ist die Kugel im Vortheil gegenüber der Spitze. Da jedoch eine gewisse Intensität der Wirkung erforderlich ist, um die Strömungen sichtbar zu machen, so ist klar, dass die Kugel bei dem beschriebenen Versuch nicht zu gross genommen werden sollte.

Infolge dieser zweifachen Tendenz ist es möglich, mit Hülfe von Spitzen Wirkungen zu erzeugen, welche mit den durch Kapacität hervorgebrachten identisch sind. So kann man z. B. dadurch, dass man an einem Pole der Spule ein kurzes Stück berussten Drahtes, welcher viele Spitzen und die Möglichkeit leichten Entweichens darbietet, befestigt, die Spannung der Spule zu demselben Werthe erhöhen, wie dadurch, dass man an dem Pole eine polirte Kugel von vielmal grösserer Oberfläche als die des Drahtes anbringt.

Ein interessanter Versuch, der die Wirkung der Spitzen darthut, kann in folgender Weise ausgeführt werden. Man befestige an dem einen Pole der Spule einen mit Baumwolle umsponnenen Draht von etwa 60 cm Länge und stelle denjenigen Zustand her, dass Lichtströme von dem Drahte ausgehen. Bei diesem Versuch ist die Primärspule zweckmässig so anzubringen, dass sie nur etwa zur Hälfte in die Sekundärspule hineinragt. Nun berühre man den freien Pol der Sekundärspule mit einem in der Hand gehaltenen leitenden Gegenstande oder verbinde ihn auch mit einem isolirten Körper von gewissem Umfange. Auf diese Weise kann das Potential am Drahte enorm erhöht werden. Die Wirkung hiervon ist entweder eine Vermehrung oder Verminderung der Strömungen. Nehmen letztere zu, so ist der Draht zu kurz, nehmen sie ab, so ist er zu lang. Durch Regulirung der Länge des Drahtes findet man einen Punkt, wo die Berührung des andern Poles überhaupt keine Wirkung mehr auf die Büschel ausübt. In diesem Falle wird die Erhöhung der Spannung durch den Abfall derselben durch die Spule hindurch genau ausgeglichen. Man beobachtet, dass geringe Drahtlängen beträchtliche Unterschiede in der Grösse und Leuchtkraft der Büschel hervorrufen. Die Primärspule wird aus zwei Gründen seitlich angebracht, einmal, um das Potential am Drahte zu erhöhen, und zweitens, um den Abfall durch die Spule hindurch zu vergrössern. Auf diese Weise wird die Empfindlichkeit erhöht.

Es giebt noch eine andere und weit überraschendere Eigenthümlichkeit der durch sehr schnell wechselnde Ströme hervorgebrachten Büschelentladung. Um diese zu beobachten, thut man am besten, die gewöhnlichen Klemmen der Spule durch zwei Metallsäulen zu ersetzen, die mit Ebonit von ziemlicher Dicke isolirt sind. Es ist auch gut, alle Spalten und Risse mit Wachs auszufüllen, so dass sich die Büschel nirgends anders als an den Spitzen der Säulen bilden können. Sind die Verhältnisse sorgfältig abgepasst — was natürlich der Geschicklichkeit des Experimentators überlassen bleiben muss —, derart dass die Spannung zu einem enormen Werthe steigt, so kann man zwei mächtige Büschel von mehreren Zoll Länge erzeugen, die an der Wurzel nahezu weiss sind und im Dunkeln eine überraschende Aehnlichkeit mit zwei Gasflammen haben, bei denen das Gas unter Druck ausströmt (Fig. 110). Aber sie sind nicht nur Flammen ähnlich, sondern es sind wirkliche Flammen, denn sie sind heiss. Allerdings sind sie nicht so heiss, wie ein Gasbrenner, aber sie würden es sein, wenn die Frequenz und die Spannung genügend hoch wären. Werden dieselben mit etwa 20000 Wechseln per Sekunde erzeugt, so ist die Wärme leicht wahrnehmbar, selbst wenn

die Spannung nicht so sehr hoch ist. Die entwickelte Wärme rührt natürlich von dem Anprall der Luftmoleküle gegen die Elektroden und gegen einander her. Da bei gewöhnlichen Drucken die mittlere freie Bahn äusserst klein ist, so ist es möglich, dass trotz der enormen Anfangsgeschwindigkeit, welche jedem Molekül bei seiner Berührung mit der Elektrode mitgetheilt wird, sein Fortschreiten durch Zusammentreffen mit andern Molekülen doch in solchem Maasse gehindert wird, dass es sich nicht weit von der Elektrode entfernt, sondern dieselbe mehrere Male hinter einander treffen kann. Je höher die Frequenz, um so weniger weit kann sich das Molekül entfernen, und zwar auch aus dem Grunde, weil für eine gegebene Wirkung die erforderliche Spannung kleiner ist, und es ist eine Frequenz denkbar — vielleicht sogar erreichbar —, bei welcher praktisch immer dieselben Moleküle an die Elektrode stossen. Unter solchen Umständen würde der Wechsel der Moleküle sehr langsam vor sich gehen und die an und in der Nähe der Elektrode erzeugte Wärme würde ausserordentlich gross sein. Wenn jedoch die Frequenz noch weiter beständig zunimmt, so würde die erzeugte Wärme aus ersichtlichen Gründen abzunehmen beginnen. In dem positiven Büschel einer statischen Maschine ist der Wechsel der Moleküle sehr rasch, der Strom hat beständig die gleiche Richtung und die Zusammenstösse sind weniger zahlreich; demnach muss die Wärmewirkung sehr gering sein. Alles, was die Leichtigkeit des Wechsels der Moleküle hindert, dient dazu, die erzeugte lokale Wärme zu vermehren. Wird z. B. eine Glaskugel über das Ende der Spule gehalten, derart dass sie das Büschel einschliesst, so wird die in der Kugel enthaltene Luft sehr schnell zu einer hohen Temperatur gebracht. Hält man einen Glascylinder so über das Büschel, dass der Zug das Büschel nach aufwärts führt, so entweicht an dem oberen Ende des Cylinders sengend heisse Luft. Alles, was in das Büschel hineingehalten wird, wird natürlich rasch erwärmt und es bietet sich die Möglicheit, derartige Wärmewirkungen für andere Zwecke zu verwerthen.

Wenn wir diese eigenthümliche Erscheinung des heissen Büschels betrachten, so müssen wir zu der Ueberzeugung kommen, dass ein ähnlicher Vorgang sich bei der gewöhnlichen Flamme abspielen muss, und es erscheint seltsam, dass wir, nachdem wir bereits Jahrhunderte lang mit der Flamme bekannt waren, jetzt in dieser Aera der elektrischen Beleuchtung und Heizung schliesslich zu der Erkenntniss geführt werden, dass wir seit undenklichen Zeiten am Ende stets „elektrisches Licht und Wärme" zu unserer Verfügung hatten. Es bietet auch die Erwägung nicht geringes Interesse, dass wir die Möglichkeit haben,

durch andere als chemische Mittel eine wirkliche Flamme zu erzeugen, welche, ohne dass irgend welches Material verbraucht wird und ohne dass irgend ein chemischer Process stattfindet, Licht und Wärme giebt; und um dies zu erreichen, brauchen wir nur die Methoden zur Erzeugung enormer Frequenzen und Spannungen zu vervollkommnen. Ich zweifle nicht, dass, wenn man im Stande wäre zu bewirken, dass die Spannung mit hinreichender Schnelligkeit und Stärke alternirt, das am Ende eines Drahtes sich bildende Büschel seine charakteristischen Merkmale verlieren und flammenähnlich werden würde. Die Flamme muss von elektrostatischer Wirkung der Moleküle herrühren.

Diese Erscheinung erklärt nun in kaum zu bezweifelnder Weise die häufigen Unfälle, wie sie bei Gewittern vorkommen. Es ist wohlbekannt, dass oft Gegenstände in Brand gesetzt werden, ohne vom Blitz getroffen zu sein. Wir wollen jetzt sehen, wie dies geschehen kann. An einem Nagel im Dache z. B. oder an irgend einem Vorsprunge, der mehr oder weniger leitend ist oder durch Feuchtigkeit so geworden ist, kann ein mächtiges Lichtbüschel auftreten. Wenn der Blitz irgendwo in der Nähe einschlägt, so kann dies möglicher Weise zur Folge haben, dass die enorme Spannung viele Millionen Male in der Sekunde alternirt oder fluktuirt. Die Luftmoleküle werden heftig angezogen und abgestossen und bringen durch ihren Stoss eine so mächtige Wärmewirkung hervor, dass ein Feuer entsteht. Es ist denkbar, dass ein Schiff zur See in dieser Weise gleichzeitig an mehreren Punkten Feuer fängt. Wenn wir erwägen, dass auch bei den vergleichsweise niedrigen Frequenzen, die man mit einer Dynamomaschine erreichen kann, und mit Spannungen von nicht mehr als ein- oder zweihunderttausend Volt die Wärmewirkungen beträchtlich sind, so können wir uns denken, um wie viel mächtiger dieselben bei vielmal grösseren Frequenzen und Spannungen sein müssen, und es erscheint daher die obige Erklärung zum mindesten als sehr wahrscheinlich. Möglicher Weise sind bereits ähnliche Erklärungen aufgestellt worden, es ist mir aber nicht bekannt, dass bis jetzt die Wärmewirkungen eines Lichtbüschels, welches durch eine rasch wechselnde Spannung erzeugt wird, experimentell nachgewiesen worden wären, wenigstens nicht in so bemerkenswerthem Grade.

Wenn man den Wechsel der Luftmoleküle vollständig verhindert, so kann die lokale Wärmewirkung derart erhöht werden, dass ein Körper zum Glühen gebracht wird. Wenn z. B. ein kleiner Knopf oder lieber ein sehr dünner Draht oder Faden in eine nicht evakuirte Kugel eingeschlossen und mit der Klemme der Spule verbunden wird, so kann derselbe glühend gemacht werden. Die Erscheinung wird noch inter-

essanter dadurch, dass sich das obere Ende des Fadens rasch im Kreise herumbewegt und dadurch das Aussehen eines leuchtenden Trichters darbietet (Fig. 111), welcher sich bei wachsender Spannung erweitert. Ist die Spannung niedrig, so kann das Ende des Fadens unregelmässige Bewegungen ausführen, indem es plötzlich aus der einen in die andere Bewegung übergeht, oder es kann eine Ellipse beschreiben; ist die Spannung aber sehr hoch, so bewegt es sich stets in einem Kreise, und so bewegt sich im Allgemeinen ein dünner gerader Draht, der frei an der Klemme der Spule befestigt ist. Diese Bewegungen haben natürlich ihren Grund in dem Anprall der Moleküle und in der Unregelmässigkeit der Spannungsvertheilung infolge der unebenen und unsymmetrischen Beschaffenheit des Drahtes oder Fadens. Bei einem vollkommen symmetrischen und glatten Drahte würden solche Bewegungen wahrscheinlich nicht vorkommen. Dass die Bewegung aller Wahrscheinlichkeit nach nicht von andern Ursachen herrührt, geht aus der Thatsache hervor, dass sie keine bestimmte Richtung hat und in einer sehr stark evakuirten Kugel ganz aufhört. Die Möglichkeit, einen Körper in einer evakuirten Kugel oder auch, wenn er gar nicht eingeschlossen ist, zum Glühen zu bringen, dürfte einen Weg zeigen, Lichtwirkungen hervorzubringen, die nach Vervollkommnung der Methoden zur Erzeugung rasch wechselnder Spannungen zu nützlichen Zwecken verwerthet werden könnten.

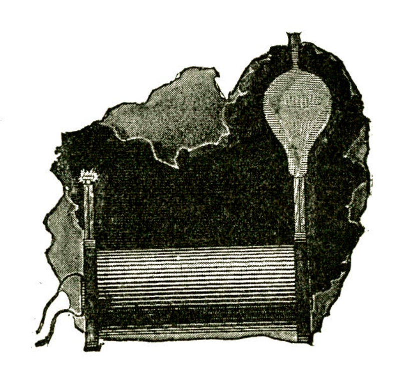


Fig. 111.

Bei Anwendung einer käuflichen Spule ist die Erzeugung sehr kräftiger Büschelwirkungen mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da, wenn solche hohen Frequenzen und enormen Spannungen benutzt werden, auch die beste Isolation nicht Stand zu halten vermag. In der Regel ist die Spule gut genug isolirt, um der Spannung von Windung zu Windung zu widerstehen, da zwei mit doppelter Seidenbespinnung versehene paraffinirte Drähte eine Spannung von mehreren tausend Volt aushalten. Die Schwierigkeit liegt hauptsächlich darin, das Durchschlagen von der sekundären Spule nach der primären, welches durch die von letzterer ausgehenden Strömungen bedeutend erleichtert wird, zu verhindern. In der Spule ist natürlich die Beanspruchung von Abtheilung zu Abtheilung am grössten, gewöhnlich aber sind bei einer grösseren Spule so viele Abtheilungen vorhanden, dass die Gefahr eines plötzlichen Durchschlagens

nicht sehr gross ist. Nach dieser Richtung begegnet man im Allgemeinen keiner Schwierigkeit und überdies wird die Möglichkeit einer inneren Beschädigung der Spule durch den Umstand sehr verringert, dass die höchst wahrscheinlich erzeugte Wirkung einfach eine allmähliche Erwärmung ist, die, weit genug vorgeschritten, der Beobachtung nicht entgehen kann. Das Haupterforderniss ist also, die Strömungen zwischen der primären Spule und der Röhre zu verhüten, nicht allein wegen der Erwärmung und möglichen Beschädigung, sondern auch weil die Strömungen die an den Klemmen verwerthbare Spannungsdifferenz sehr erheblich vermindern können. Einige Andeutungen darüber, wie dies geschehen kann, dürften daher bei den meisten dieser Versuche, wenn sie mit der gewöhnlichen Induktionsspule ausgeführt werden, sich nützlich erweisen.

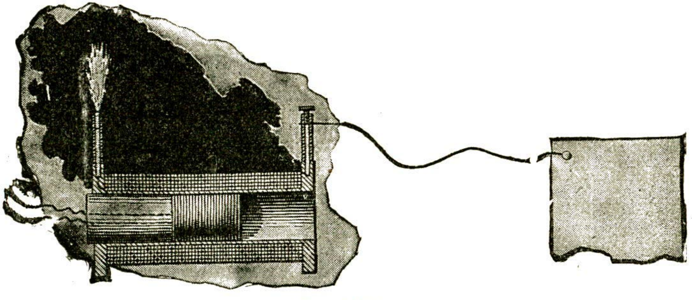


Fig. 112a.

Eins dieser Mittel besteht darin, dass man eine kurze Primärspule wickelt (Fig. 112a), so dass die Spannungsdifferenz bei dieser Länge nicht gross genug ist, um das Durchbrechen der Strömungen durch die isolirende Röhre hindurch zu veranlassen. Die Länge der primären Spule sollte durch den Versuch bestimmt werden. Beide Enden der Spule sind an einem und demselben Ende durch einen in die Röhre hineinpassenden Stöpsel aus isolirendem Material, wie in der Figur dargestellt, nach aussen zu führen. Bei einer solchen Anordnung wird das eine Ende der sekundären Spule an einem Körper befestigt, dessen Oberfläche mit der grössten Sorgfalt derart bestimmt wird, dass er die grösste Spannungssteigerung erzeugt. An dem andern Ende erscheint dann ein mächtiges Büschel, mit dem man experimentiren kann.

Die obige Methode erfordert die Anwendung einer Primärspule von verhältnissmässig geringer Grösse und letztere erwärmt sich leicht, wenn kräftige Wirkungen eine gewisse Zeit hindurch wünschenswerth sind. In solchem Falle ist es besser, eine grössere Spule anzuwenden (Fig. 112b)

und dieselbe von der einen Seite in die Röhre einzuführen, bis die Strömungen zum Vorschein kommen. In diesem Falle kann das nächste Ende der sekundären Spule mit der Primärspule oder mit der Erde verbunden werden, was praktisch dasselbe ist, wenn die Primärspule direkt mit der Maschine verbunden ist. Im Falle von Erdverbindungen thut man gut, die Frequenz, welche für die Bedingungen des Versuchs am besten geeignet ist, experimentell zu bestimmen. Ein anderes Verfahren, die Strömungen mehr oder weniger zu verhüten, besteht darin, dass man die Primärspule in Abtheilungen herstellt und ihr den Strom aus getrennten gut isolirten Stromquellen zuführt.

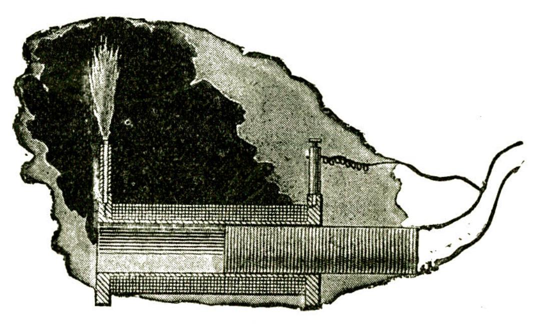


Fig. 112b.

Bei manchen von diesen Versuchen, bei welchen kräftige Wirkungen nur eine kurze Zeit hindurch gewünscht werden, ist es vortheilhaft, Eisenkerne in den Primärspulen zu benutzen. In einem derartigen Falle kann man eine sehr grosse primäre Spule wickeln und dieselbe neben die sekundäre Spule setzen; und nachdem man das nächste Ende der letzteren mit der primären Spule verbunden hat, führt man einen untertheilten Eisenkern durch die Primärspule hindurch in die sekundäre Spule hinein, soweit als es die Strömungen gestatten. Unter diesen Verhältnissen kann man ein ausserordentlich kräftiges Büschel von mehreren Zoll Länge, das man passend „St. Elms-Glühfeuer" nennen kann, an dem andern Pole der sekundären Spule hervorbringen, was überraschende Effekte erzeugt. Es ist ein sehr kräftiger Ozonerzeuger, ein so kräftiger in der That, dass nur wenige Minuten genügen, um den ganzen Raum mit dem Ozongeruch zu erfüllen, und es besitzt unzweifelhaft die Eigenschaft, chemische Wirkungen hervorzubringen.

Zur Erzeugung von Ozon sind Wechselströme von sehr hoher Frequenz in hervorragendem Maasse geeignet, nicht nur mit Rücksicht auf die Vortheile, welche sie bezüglich der Umwandlung bieten, sondern

auch infolge des Umstandes, dass die ozonisirende Wirkung einer Entladung sowohl von der Frequenz als auch von der Spannung abhängig ist, was unzweifelhaft durch Beobachtung bestätigt wird.

Wird bei diesen Versuchen ein Eisenkern benutzt, so muss man auf denselben sorgfältig Acht geben, da derselbe in unglaublich kurzer Zeit ausserordentlich heiss zu werden vermag. Um eine Vorstellung von der Schnelligkeit der Erwärmung zu geben, will ich anführen, dass, wenn man einen kräftigen Strom durch eine Spule von vielen Windungen hindurchschickt, man in dieselbe einen dünnen Eisendraht nicht länger als eine Sekunde hineinzuschieben braucht, um denselben auf etwa 100° C. zu erwärmen.

Aber diese rasche Erwärmung braucht uns nicht abzuhalten, bei rasch wechselnden Strömen Eisenkerne zu verwenden. Ich habe schon seit längerer Zeit die Ueberzeugung gewonnen, dass bei der industriellen Energievertheilung mittels Transformatoren etwa ein Plan wie der folgende praktisch sein würde. Wir können einen verhältnissmässig kleinen, untertheilten oder vielleicht nicht einmal untertheilten Eisenkern benutzen. Diesen Kern können wir mit einem feuerbeständigen und die Wärme schlecht leitenden Material von beträchtlicher Dicke umgeben und darüber die primären und sekundären Windungen anbringen. Indem wir dann entweder höhere Frequenzen oder grössere magnetisirende Kräfte anwenden, können wir durch Hysteresis und Wirbelströme den Eisenkern so weit erhitzen, dass er nahezu auf das Maximum seiner Permeabilität kommt, welches, wie Hopkinson gezeigt hat, etwa sechzehnmal grösser sein kann als bei gewöhnlichen Temperaturen. Wenn der Eisenkern vollständig eingeschlossen ist, würde er durch die Hitze nicht Schaden leiden, und wenn die Umhüllung mit feuersicherem Material dick genug ist, so würde trotz der hohen Temperatur nur ein geringer Betrag an Energie durch Strahlung verloren gehen. Nach diesem Plane sind Transformatoren von mir konstruirt worden, aber aus Mangel an Zeit konnten bisher keine eingehenden Versuche ausgeführt werden.

Ein anderes Verfahren, um den Eisenkern bei rasch wechselnden Strömen zu verwenden oder, allgemein gesprochen, die Reibungsverluste zu verringern, besteht darin, dass man durch fortgesetzte Magnetisirung einen Fluss von ungefähr siebentausend oder achttausend Kraftlinien per Quadratcentimeter durch den Kern hindurch erzeugt und dann um den Punkt der grössten Permeabilität herum mit schwachen magnetisirenden Kräften und vorzugsweise hohen Frequenzen arbeitet. In dieser Weise lässt sich ein höherer Wirkungsgrad der Transformation und eine grössere Leistungsfähigkeit erreichen. Ich habe dieses Princip

auch in Verbindung mit Maschinen angewendet, bei denen keine Umkehrung der Polarität stattfindet. Bei diesen Maschinentypen erzielt man, so lange dieselben nur wenige Polvorsprünge haben, keinen grossen Vortheil, da die Maxima und Minima der Magnetisirung weit ab von dem Punkte der grössten Permeabilität liegen; wenn aber die Anzahl der Polvorsprünge sehr gross ist, so kann man die erforderliche Schnelligkeit der Stromwechsel erreichen, ohne die Magnetisirung so weit zu variiren, dass man sich beträchtlich von dem Punkte der grössten Permeabilität entfernt, was einen erheblichen Gewinn bedeutet.

Die oben beschriebenen Anordnungen beziehen sich nur auf den Gebrauch im Handel käuflicher Spulen, wie sie gewöhnlich hergestellt werden. Will man eine Spule speciell zu dem Zwecke herstellen, um mit ihr solche Versuche, wie ich sie beschrieben habe, anzustellen, oder allgemein, um sie zu befähigen, die grösstmöglichen Spannungsdifferenzen auszuhalten, so dürfte sich eine Konstruktion, wie sie in Fig. 113 angedeutet ist, als vortheilhaft erweisen. Die Spule wird in diesem Falle aus zwei von einander unabhängigen, entgegengesetzt gewickelten Theilen gebildet und die Verbindung zwischen beiden wird nahe an der Primärspule hergestellt. Da die Spannung in der Mitte Null ist, so besteht kein grosses Bestreben, auf die Primärspule überzuspringen, und es ist keine starke Isolation erforderlich. In einigen Fällen kann man indessen den mittleren Punkt mit der primären Spule oder mit der Erde verbinden. Bei einer solchen Spule liegen die Stellen grösster Spannungsdifferenz weit ab von einander und die Spule vermag einer enormen Spannung zu widerstehen. Die beiden Theile können beweglich sein, um eine kleine Regulirung der Kapacitätswirkung zu ermöglichen.

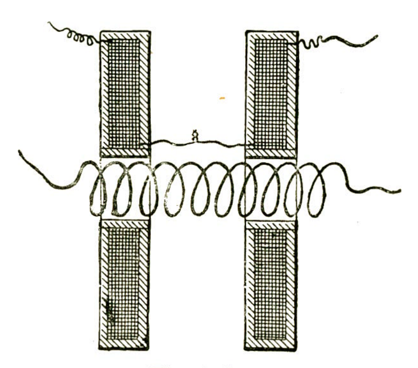


Fig. 113.

Was die Art der Isolirung der Spule anbelangt, so wird sich das folgende Verfahren als zweckmässig erweisen. Zunächst siede man den Draht in Paraffinöl, bis alle Luft ausgetrieben ist. Dann wickele man die Spule, indem man den Draht durch geschmolzenes Paraffin laufen lässt, letzteres nur zu dem Zwecke, um den Draht festzulegen. Die Spule wird dann von dem Spulencylinder abgenommen und in ein mit reinem geschmolzenen Wachs gefülltes cylindrisches Gefäss getaucht

und so lange gekocht, bis keine Blasen mehr erscheinen. Das Ganze wird dann stehen gelassen, um es vollständig abzukühlen, und darauf wird die Masse aus dem Gefäss herausgenommen und auf einer Drehbank abgedreht. Eine in solcher Weise und mit Sorgfalt hergestellte Spule vermag enormen Spannungsdifferenzen zu widerstehen.

Es kann zweckmässig sein, die Spule in Paraffinöl oder irgend eine andere Art Oel einzutauchen. Es ist dies ein sehr wirksames Isolirungsverfahren, insbesondere wegen der vollständigen Ausschliessung der Luft; indessen dürfte ein mit Oel gefülltes Gefäss gerade kein Gegenstand sein, mit dem man in einem Laboratorium bequem hantiren kann.

Wenn eine gewöhnliche Spule aus einander genommen werden kann, so kann man die primäre Spule aus der Röhre herausnehmen, die letztere an dem einen Ende zustöpseln, das Oel hineinfüllen und die Primärspule wieder einsetzen. Dies giebt eine ausgezeichnete Isolation und verhütet die Bildung von Büschelentladungen.

Unter allen Versuchen, welche mit rasch wechselnden Strömen angestellt werden können, sind diejenigen, welche die Herstellung eines praktischen Beleuchtungsmittels betreffen, die interessantesten. Es lässt sich nicht leugnen, dass die gegenwärtigen Methoden, wenn sie auch glänzende Fortschritte bedeuteten, sehr unökonomisch sind. Es müssen bessere Methoden erfunden, vollkommenere Apparate ersonnen werden. Die neueren Untersuchungen haben neue Möglichkeiten für die Erzeugung einer wirksameren Lichtquelle eröffnet und die allgemeine Aufmerksamkeit hat sich der von geschickten Pionieren angegebenen Richtung zugewendet. Viele haben sich durch die Begeisterung und die Sucht, etwas zu entdecken, fortreissen lassen, aber in ihrem Eifer, Resultate zu erreichen, sind sie irre geführt worden. In der Absicht, elektromagnetische Wellen zu erzeugen, wandten sie ihre Aufmerksamkeit vielleicht zu sehr dem Studium der elektromagnetischen Wirkungen zu und vernachlässigten das Studium der elektrostatischen Erscheinungen. Naturgemäss bedient sich fast jeder Forscher eines Apparates, der dem bei früheren Experimenten angewendeten ähnlich ist. Während aber bei Apparaten dieser Art die elektromagnetischen Induktionswirkungen enorm sind, sind die elektrostatischen Wirkungen ausserordentlich gering.

Bei den Hertz'schen Versuchen z. B. wird eine Induktionsspule hoher Spannung kurz geschlossen durch einen Bogen, dessen Widerstand sehr klein ist, und zwar um so kleiner, je mehr Kapacität an den Klemmen angebracht ist, und die Spannungsdifferenz an diesen wird dadurch enorm verringert. Andererseits können, wenn die Ent-

ladung zwischen den Polen nicht übergeht, die statischen Wirkungen beträchtlich sein, aber nur qualitativ, nicht quantitativ, da ihre Zunahme und Abnahme sehr plötzlich und ihre Frequenz sehr gering ist. In keinem Falle sind daher mächtige elektrostatishe Wirkungen wahrnehmbar. Analoge Verhältnisse bestehen, wenn es sich, wie bei einigen interessanten Versuchen von Dr. Lodge, um die disruptive Entladung Leydener Flaschen handelt. Man dachte sich die Sache so — und behauptete es auch, wie ich glaube —, dass in solchen Fällen der grösste Theil der Energie in den Raum ausgestrahlt wird. Im Lichte der oben beschriebenen Versuche wird man diesen Gedanken aufgeben müssen. Ich bin überzeugt, dass in solchen Fällen der grösste Theil der Energie in dem Entladungsbogen sowie in dem leitenden und isolirenden Material der Flasche verzehrt und in Wärme verwandelt wird, obwohl allerdings ein Theil der Energie durch Elektrisirung der Luft verbraucht wird; indessen ist der Betrag der direkt ausgestrahlten Energie sehr gering.

Wenn eine mit Wechselströmen von nur 20 000 Wechseln per Sekunde betriebene Induktionsspule hoher Spannung durch eine selbst nur kleine Flasche geschlossen wird, so geht praktisch die ganze Energie durch das Dielektrikum der Flasche, welches erwärmt wird, hindurch und die elektrostatischen Wirkungen äussern sich ausserhalb nur in sehr schwachem Grade. Nun kann man den äusseren Stromkreis einer Leydener Flasche, d. h. den Bogen und die Verbindungen der Belegungen, als einen Stromkreis betrachten, welcher Wechselströme von ausserordentlich hoher Frequenz und ziemlich hoher Spannung erzeugt und durch die Belegungen und das Dielektrikum zwischen ihnen geschlossen ist, und aus dem Obigen geht hervor, dass die äusseren elektrostatischen Wirkungen sehr gering sein müssen, selbst wenn noch ein zweiter (alternativer) Entladungsstromkreis angewendet wird. Diese Verhältnisse zeigen, dass bei den gewöhnlich zur Verfügung stehenden Apparaten die Beobachtung mächtiger elektrostatischer Wirkungen unmöglich war, und was durch die Erfahrung nach dieser Richtung bekannt geworden ist, ist nur der grossen Geschicklichkeit der Forscher zu verdanken.

Nach der Theorie sind aber mächtige elektrostatische Wirkungen eine unerlässliche Bedingung für die Lichterzeugung. Elektromagnetische Wirkungen sind primär deshalb unverwendbar, weil man, um die gewünschten Wirkungen hervorzubringen, Stromstösse durch einen Leiter zu schicken hätte, der, lange bevor die erforderliche Frequenz der Stromstösse erreicht werden könnte, aufhören würde, dieselben fortzupflanzen. Andererseits scheint es, dass elektromagnetische Wellen von vielmal grösserer Länge als diejenigen des Lichtes, wie sie durch

plötzliche Entladung eines Kondensators erzeugt werden können, nicht verwendbar sind, wir müssten denn ihre Wirkungen auf Leiter benutzen, wie in den jetzigen Methoden, welche sehr unökonomisch sind. Mittels solcher Wellen könnten wir die statischen Ladungen der Moleküle oder Atome eines Gases nicht beeinflussen und dieselben zu Schwingungen und zur Lichtemission veranlassen. Lange transversale Wellen können solche Wirkungen anscheinend nicht hervorbringen, da ausserordentlich kleine elektromagnetische Störungen leicht meilenweit durch die Luft sich fortpflanzen. Solche dunklen Wellen können, wie es scheint, nicht die leuchtende Strahlung in einer Geissler'schen Röhre erregen, wofern sie nicht die Länge wirklicher Lichtwellen haben, und ich bin geneigt, die Lichtwirkungen, welche durch Induktion in einer elektrodenlosen Röhre hervorgebracht werden können, als solche von elektrostatischer Natur zu betrachten.

Um solche Lichtwirkungen hervorzubringen, sind gerade elektrostatische Stösse erforderlich; diese können, welches auch ihre Frequenz sein möge, die molekularen Ladungen stören und Licht erzeugen. Da Stromstösse von der erforderlichen Frequenz nicht durch einen Leiter von messbaren Dimensionen hindurchgehen können, so müssen wir mit einem Gase arbeiten, und dann wird die Erzeugung kräftiger elektrostatischer Wirkungen eine gebieterische Nothwendigkeit.

Ich habe jedoch bemerkt, dass elektrostatische Wirkungen auf mannigfache Weise zur Erzeugung von Licht verwerthet werden können. Wir können z. B. einen Körper aus irgend einem feuerbeständigen Material in eine geschlossene und noch besser mehr oder weniger evakuirte Kugel setzen, denselben mit einer Quelle von hoher rasch wechselnder Spannung verbinden und dadurch bewirken, dass die Gasmoleküle denselben viele Male in der Sekunde mit ungeheuren Geschwindigkeiten treffen und ihn auf diese Weise wie mit Trillionen unsichtbarer Hämmer schlagen, bis er glühend wird. Oder wir können einen Körper in eine in sehr hohem Grade luftleer gemachte Kugel, also in ein nicht mehr zu durchschlagendes Vakuum bringen und durch Anwendung sehr hoher Frequenzen und Spannungen hinreichende Energie von ihm auf andere Körper in der Nähe oder überhaupt auf die Umgebung übertragen, um sie auf jedem beliebigen Grade des Glühens zu erhalten; oder wir können endlich mit Hülfe solcher schnell wechselnden hohen Spannungen den von den Molekülen eines Gases mitgeführten Aether oder ihre statischen Ladungen stören und sie dadurch veranlassen zu vibriren und Licht auszusenden.

Da aber elektrostatische Wirkungen von der Spannung und der Frequenz abhängig sind, so ist es wünschenswerth, um die kräftigste

Wirkung hervorzubringen, beide so weit als praktisch ausführbar zu steigern. Es ist] möglich, recht hübsche Resultate dadurch zu erhalten, dass man den einen dieser Faktoren niedrig hält, falls nur der andere genügend gross ist; jedoch ist man in beiden Richtungen beschränkt. Meine Erfahrung hat gezeigt, dass man nicht unter eine gewisse Frequenz hinabgehen darf, denn erstens wird die Spannung dann so gross, dass sie gefährlich ist, und zweitens ist die Lichterzeugung weniger wirkungsvoll.

Ich habe gefunden, dass bei Anwendung der gewöhnlichen niedrigen Frequenzen die physiologische Wirkung des Stromes, welcher erforderlich ist, um eine 120 cm lange, an beiden Enden mit äusseren und inneren Kondensatorbelegungen versehene Röhre auf einem gewissen Helligkeitsgrade zu erhalten, so kräftig ist, dass sie diejenigen, welche an solche Schläge nicht gewöhnt sind, ernstlich verletzen dürfte, während dagegen bei zwanzigtausend Wechseln per Sekunde die Röhre auf demselben Helligkeitsgrade gehalten werden kann, ohne dass man irgend welche Wirkung auf sich fühlt. Dies rührt hauptsächlich von der Thatsache her, dass zur Erzeugung der nämlichen Lichtwirkung eine viel kleinere Spannung erforderlich ist, und ferner von dem höheren Wirkungsgrade der Lichterzeugung. Offenbar ist in solchen Fällen der Wirkungsgrad um so grösser, je höher die Frequenz ist; denn je schneller der Process der Ladung und der Entladung der Moleküle vor sich geht, um so weniger Energie wird in Form der dunklen Strahlung verloren. Leider aber können wir wegen der Schwierigkeit der Erzeugung und Fortleitung der Wirkungen nicht über eine gewisse Frequenz hinausgehen.

Ich habe oben angeführt, dass ein in eine nicht evakuirte Kugel eingeschlossener Körper einfach durch Verbindung mit einer Quelle von rasch wechselnder Spannung intensiv erhitzt werden kann. Die Erwärmung ist in solchem Falle höchstwahrscheinlich zum grössten Theile dem Anprallen der in der Kugel enthaltenen Gasmoleküle zuzuschreiben. Ist die Kugel evakuirt, so erfolgt die Erwärmung des Körpers viel schneller und es ist durchaus nicht schwierig, einen Draht oder Faden zu irgend einem Grade des Glühens zu bringen dadurch, dass man ihn einfach mit einem Ende einer Spule von geeigneten Dimensionen verbindet. Wird z. B. der bekannte Apparat von Prof. Crookes, welcher aus einem gebogenen Platindraht mit darüber montirten Flügeln besteht (Fig. 114), mit einem Pole der Spule verbunden — und zwar kann entweder nur ein Ende oder beide Enden des Platindrahtes angeschlossen werden —, so wird der Draht fast augenblicklich glühend, und die Glimmerflügel rotiren, als ob ein Batteriestrom benutzt würde. Ein

dünner Kohlenfaden oder, noch besser, ein Knopf von irgendwelchem feuerbeständigem Material (Fig. 115), auch wenn dasselbe ein verhältnissmässig schlechter Leiter ist, der in eine evakuirte Kugel eingeschlossen ist, kann hochglühend gemacht werden, und auf diese Weise ist eine einfache Lampe hergestellt, die jede gewünschte Kerzenstärke zu geben vermag.

Der Erfolg von Lampen dieser Art würde hauptsächlich von der Wahl der in der Kugel enthaltenen lichtspendenden Körper abhängen. Da sich unter den beschriebenen Verhältnissen feuerbeständige Körper — welche sehr schlechte Leiter sind und lange Zeit hindurch ausserordentlich hohen Wärmegraden zu widerstehen vermögen — benutzen lassen, so dürfte man mit solchen Beleuchtungsvorrichtungen möglicher Weise Erfolge erzielen können.

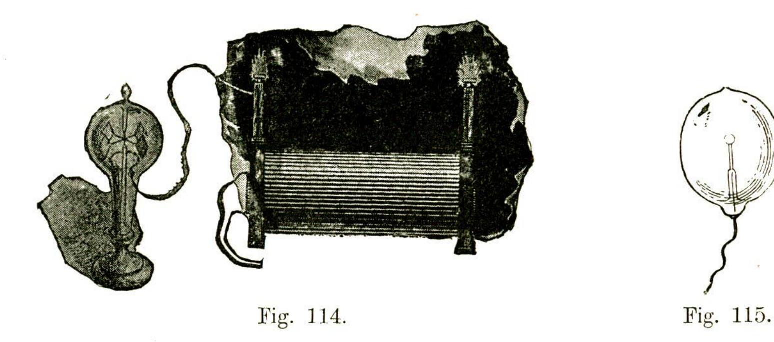


Fig. 114. Fig. 115.

Man könnte zunächst denken, dass, wenn die den Faden oder Knopf aus feuerbeständigem Material enthaltende Kugel vollkommen luftleer gemacht ist, d. h. soweit es eben mit Hülfe der besten Apparate geschehen kann, die Erwärmung viel weniger intensiv sein sollte und dass sie in einem vollkommenen Vakuum überhaupt nicht stattfinden könnte. Dies wird durch meine Erfahrung nicht bestätigt; im Gegentheil, je besser das Vakuum, um so leichter werden die Körper zum Glühen gebracht. Dies Resultat ist aus verschiedenen Gründen interessant.

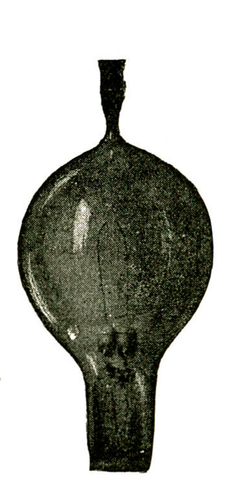
Gleich im Anfang dieser Arbeit kam mir der Gedanke, ob vielleicht zwei Körper aus feuerbeständigem Material, die in eine Kugel eingeschlossen sind, welche bis zu einem solchen Grade luftleer gemacht ist, dass die Entladung einer grossen in der gewöhnlichen Weise betriebenen Induktionsspule nicht mehr hindurchzugehen vermag, durch blosse Kondensatorwirkung glühend gemacht werden könnten. Offenbar sind, zur Erreichung dieses Resultats enorme Spannungsdifferenzen und sehr hohe Frequenzen erforderlich, wie eine einfache Rechnung zeigt.

Eine solche Lampe würde indessen hinsichtlich des Wirkungsgrades einen bedeutenden Vortheil vor einer gewöhnlichen Glühlampe voraus haben. Bekanntlich ist der Wirkungsgrad einer Lampe bis zu gewissem Grade eine Funktion des Glühgrades und der Wirkungsgrad würde viel grösser sein, wenn wir nur im Stande wären, einen Kohlenfaden auf einen vielfach höheren Glühgrad zu bringen. Bei einer gewöhnlichen Lampe ist dies wegen der Zerstörung des Kohlenfadens nicht angängig und durch die Erfahrung ist bestimmt worden, wie weit man zweckmässig die Gluth treiben kann. Es ist unmöglich zu sagen, ein wie viel höherer Wirkungsgrad erreicht werden könnte, wenn der Faden einen unendlich grossen Widerstand besässe, da eine zu diesem Behufe angestellte Untersuchung offenbar nicht über eine gewisse Grenze hinaus geführt werden kann; es sprechen jedoch gewisse Gründe dafür, dass derselbe sehr beträchtlich höher sein würde. Eine Verbesserung könnte bei der gewöhnlichen Lampe durch Anwendung einer kurzen und dicken Kohle erreicht werden; alsdann aber würden die Einführungsdrähte dick sein müssen und ausserdem lassen noch viele andere Erwägungen eine solche Modifikation als vollständig unausführbar erscheinen. Bei einer solchen Lampe, wie oben beschrieben, aber können die Einführungsdrähte sehr dünn sein, das glühende feuerbeständige Material kann die Form von Klötzchen haben, die eine sehr kleine strahlende Oberfläche darbieten, so dass weniger Energie erforderlich sein würde, um dieselben auf der gewünschten Gluth zu erhalten, und überdies braucht das feuerbeständige Material nicht Kohle zu sein, sondern kann aus Mischungen z. B. von Oxyden mit Kohle oder anderem Material hergestellt werden oder es kann aus Körpern genommen werden, welche praktisch Nichtleiter und im Stande sind, enormen Temperaturgraden zu widerstehen.

Alles dies weist auf die Möglichkeit hin, dass man mit einer solchen Lampe einen viel höheren Wirkungsgrad erreichen kann, als er sich bei gewöhnlichen Lampen erzielen lässt. Bei meinen Versuchen hat sich ergeben, dass die Klötzchen mit viel geringeren Spannungen, als die Rechnung ergeben hatte, zu hohen Glühgraden gebracht und in grösseren Entfernungen von einander angebracht werden können. Man darf getrost annehmen, und die Wahrscheinlichkeit spricht dafür, dass das Bombardement der Moleküle ein wichtiges Element bei der Erwärmung ist, selbst wenn die Kugel mit der grössten Sorgfalt, wie ich es gethan habe, evakuirt wird; denn obwohl die Zahl der Moleküle in diesem Falle, vergleichsweise gesprochen, unbedeutend ist, finden doch, weil der mittlere freie Weg sehr gross ist, weniger Zusammenstösse statt und die Moleküle können weit höhere Geschwindigkeiten erreichen,

so dass die aus dieser Ursache herrührende Wärmewirkung, wie bei den Crookes'schen Versuchen mit strahlender Materie, erheblich sein kann.

Es ist aber auch möglich, dass die Moleküle in einem sehr hohen Vakuum, wenn die Spannung sich rasch ändert, leichter ihre Ladung verlieren, in welchem Falle der grösste Theil der Erwärmung direkt von dem Hin- und Herwogen der Ladungen in den erwärmten Körpern herrühren würde. Oder sonst könnte die beobachtete Thatsache hauptsächlich der Wirkung der Spitzen zuzuschreiben sein, von der ich oben gesprochen habe und infolge deren die in dem Vakuum enthaltenen



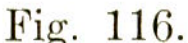


Fig. 116.



Fig. 117.

Klötzchen oder Fäden Kondensatoren von vielmal grösserer Oberfläche, als aus ihren geometrischen Dimensionen folgen würde, äquivalent sind. Die Gelehrten sind noch nicht darüber einig, ob eine Ladung sich in einem volkommenen Vakuum verliert oder nicht, oder mit andern Worten, ob der Aether ein Leiter ist oder nicht. Wäre das erstere der Fall, so würde ein dünner Kohlefaden, welcher in eine vollkommen luftleer gemachte Kugel eingeschlossen und mit einer Quelle von enormer konstanter Spannung verbunden ist, zum Glühen gebracht werden.

Ich habe verschiedene Formen von Lampen nach dem oben beschriebenen Princip, deren feuerbeständige Körper die Form von Fäden (Fig. 116) oder Klötzchen (Fig. 117) hatten, hergestellt und in Betrieb gesetzt, und weitere Untersuchungen nach dieser Richtung hin sind im Gange. Es hat keine Schwierigkeit, derartig hohe Glühgrade zu er-

reichen, dass gewöhnliche Kohle allem Anschein nach geschmolzen und verflüchtigt wird. Wenn ein absolut vollkommenes Vakuum hergestellt werden könnte, würde eine solche Lampe, obwohl sie bei den gewöhnlich angewandten Apparaten nicht zu brauchen ist, wenn mit Strömen von der erforderlichen Art betrieben, ein Beleuchtungsmittel darstellen, welches unzerstörbar und bei weitem leistungsfähiger sein würde als eine gewöhnliche Glühlampe. Diese Vollkommenheit lässt sich natürlich nie erreichen, und es wird eine sehr langsame Zerstörung und allmähliche Abnahme im Querschnitt immer eintreten, wie bei gewöhnlichen Glühlampenfäden; aber es ist keine Möglichkeit einer plötzlichen und vorzeitigen Unbrauchbarkeit vorhanden, wie sie bei letzteren durch den Bruch des Fadens eintritt, besonders dann nicht, wenn die Glühkörper die Form von Klötzchen haben.

Bei diesen rasch wechselnden Spannungen ist es aber durchaus nicht nothwendig, zwei Klötzchen in eine Kugel einzuschliessen, sondern es kann ein einziger Klotz, wie in Fig. 115, oder ein einziger Faden, wie in Fig. 118, benutzt werden. Die Spannung muss natürlich in diesem Falle höher sein, dieselbe lässt sich aber leicht erreichen und ist ausserdem nicht nothwendig gefährlich.

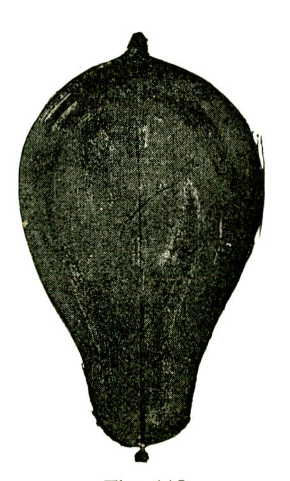


Fig. 118.

Die Leichtigkeit, mit welcher der Knopf oder Faden in einer solchen Lampe zum Glühen gebracht wird, hängt unter sonst gleichen Umständen von der Grösse der Kugel ab. Wäre ein vollkommenes Vakuum erreichbar, so würde die Grösse der Kugel nicht von Bedeutung sein, denn dann würde die Erwärmung vollständig von dem Fluktuiren der Ladungen herrühren, und die gesammte Energie würde durch Strahlung an die Umgebung abgegeben werden. Aber dies kann in der Praxis nie eintreten. Es bleibt stets etwas Gas in der Kugel zurück, und wenn auch die Luftentleerung bis zum höchsten Grade getrieben wird, so muss doch der Raum innerhalb der Kugel als leitend angesehen werden, wenn so hohe Spannungen benutzt werden, und ich nehme an, dass man zur Beurtheilung der Energie, welche von dem Faden an die Umgebung abgegeben werden kann, die innere Fläche der Kugel als die eine Belegung eines Kondensators betrachten kann, während die Luft und die andern in der Umgebung der Kugel befindlichen Gegenstände

die andere Belegung bilden. Wenn die Stromwechsel sehr langsam sind, so wird ohne Zweifel ein erheblicher Theil der Energie durch die Elektrisirung der umgebenden Luft verbraucht.

Um diesen Gegenstand besser zu studiren, führte ich einige Versuche mit ausserordentlich hohen Spannungen und niedrigen Frequenzen aus. Ich beobachtete dann, dass man, wenn man die Hand der Lampenbirne nähert — während der Faden mit der einen Klemme der Spule verbunden ist — ein kräftiges Zittern fühlt, welches von der Anziehung und Abstossung der Luftmoleküle, die durch Induktion durch das Glas hindurch elektrisirt werden, herrührt. In einigen Fällen, wo die Wirkung sehr intensiv war, konnte ich einen Ton hören, der derselben Ursache zuzuschreiben ist.

Wenn die Zahl der Stromwechsel gering ist, so kann man einen ausserordentlich kräftigen Schlag von der Lampenbirne erhalten. Im Allgemeinen sollte man, wenn man Lampenbirnen oder Gegenstände von einiger Grösse an den Klemmen der Spule anbringt, auf die Erhöhung der Spannung Acht geben, da es vorkommen kann, dass durch blosses Befestigen einer Glasbirne oder Platte an der Klemme, die Spannung bis zu einem Vielfachen ihres ursprünglichen Werthes steigt. Werden Lampen an den Klemmen angebracht, wie in Fig. 119 dargestellt, so soll die Kapacität der Birnen derart sein, dass sie unter den obwaltenden Verhältnissen die grösste Spannungserhöhung giebt. Auf diese Weise kann man die erforderliche Spannung mit weniger Drahtwindungen erhalten.

Das Leben solcher Lampen, wie oben beschrieben, hängt natürlich in bedeutendem Maasse von dem Grade der Evakuirung, in einigem Grade aber auch von der Form des Klotzes aus feuerbeständigem Material ab. Theoretisch betrachtet sollte eine kleine in eine Glaskugel eingeschlossene Kohlenkugel keinen Verschleiss durch das Bombardement der Moleküle erleiden; denn wenn die Materie in der Kugel strahlend wäre, so würden sich die Moleküle in geraden Linien bewegen und selten die Kugel in schräger Richtung treffen. Ein interessanter Gedanke bezüglich einer solchen Lampe ist der, dass in ihr „Elektricität“ und elektrische Energie sich scheinbar in denselben Linien bewegen müssen.

Die Verwendung von Wechselströmen von sehr hoher Frequenz ermöglicht es, mittels elektrostatischer oder elektromagnetischer Induktion durch das Glas der Lampe hindurch eine hinreichende Energiemenge zu übertragen, um einen Faden glühend zu erhalten und so die Einführungsdrähte zu beseitigen. Derartige Lampen sind bereits in Vorschlag gebracht worden, aber da es an geeigneten Apparaten fehlte, konnten sie

nicht erfolgreich betrieben werden. Ich habe viele Formen von Lampen nach diesem Princip mit zusammenhängenden und unterbrochenen Fäden hergestellt und mit denselben experimentirt. Bei Verwendung eines in die Lampe eingeschlossenen sekundären Drahtes verbindet man vortheilhaft einen Kondensator mit dem sekundären Draht. Wird die Uebertragung mittels elektrostatischer Induktion bewirkt, so sind natürlich die verwendeten Spannungen bei Frequenzen, wie man sie mit einer Maschine erhalten kann, sehr hoch. Z. B. ist bei einer Kondensatorfläche von 40 Quadratcentimeter, die nicht unpraktisch gross ist, und mit Glas von guter Qualität und 1 mm Dicke, wenn Wechselströme von 20000 Wechseln in der Sekunde gebraucht werden, die erforderliche Spannung annähernd 9000 Volt. Dies mag hoch erscheinen, aber da jede Lampe in den sekundären Stromkreis eines Transformators von sehr kleinen Dimensionen eingeschaltet werden kann, so würde das kein Nachtheil sein und überdies keine gefährliche Beschädigung herbeiführen können. Die Transformatoren wären am besten sämmtlich hinter einander zu schalten.

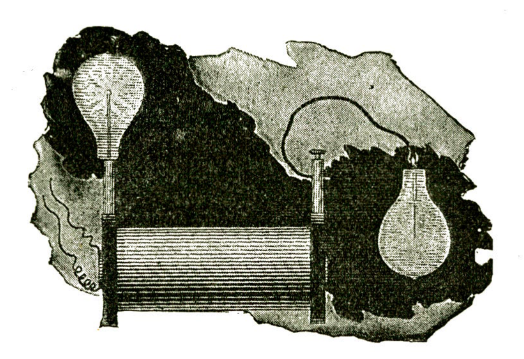


Fig. 119.

Die Regulirung würde keine Schwierigkeiten bieten, da es sehr leicht ist, bei Strömen von solchen Frequenzen einen konstanten Strom zu unterhalten.

In den beigegebenen Figuren sind einige Lampentypen dieser Art dargestellt. Fig. 120 stellt eine solche Lampe mit unterbrochenem Faden und die Fig. 121a und 121b eine solche mit einer einzigen äusseren und inneren Belegung sowie einem einzigen Faden dar. Ich habe auch Lampen mit zwei äusseren und inneren Belegungen und einer kontinuirlichen die letzteren verbindenden Schleife hergestellt. Solche Lampen wurden von mir mit Stromstössen von jenen enormen Frequenzen betrieben, wie sie durch die disruptive Entladung von Kondensatoren erhalten werden.

Die disruptive Entladung eines Kondensators ist für den Betrieb solcher Lampen ohne äussere elektrische Verbindungen mittels elektromagnetischer Induktion besonders geeignet, da die elektromagnetischen Induktionswirkungen ausserordentlich hoch sind; ich war im Stande, den

erforderlichen Glühgrad mit nur einigen wenigen kurzen Drahtwindungen hervorzubringen. Auch ein einfacher geschlossener Faden kann auf diese Weise zum Glühen gebracht werden.

Indem ich nun von der praktischen Brauchbarkeit solcher Lampen absehe, will ich nur bemerken, dass sie eine schöne und erwünschte Eigenschaft besitzen, nämlich dass sie einfach durch Aenderung der relativen Lage der äusseren und inneren Kondensatorbelegungen oder des inducirenden und inducirten Stromkreises nach Belieben mehr oder weniger hell brennend gemacht werden können.

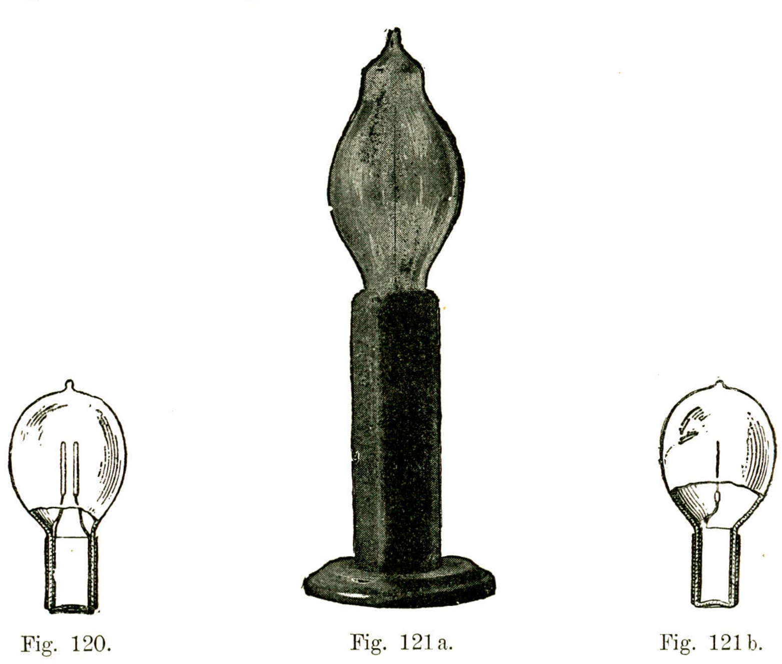


Fig. 120. Fig. 121 a. Fig. 121 b.

Wenn eine Lampe mit nur einer Klemme der Stromquelle verbunden ist, so kann man das Aufleuchten derselben erleichtern, wenn man die Kugel mit einer äusseren Kondensatorbelegung, welche zugleich als Reflektor dient, versieht und diese mit einem isolirten Körper von einigem Umfange verbindet. Lampen dieser Art sind in den Fig. 122 und 123 dargestellt, während Fig. 124 die Verbindungsweise zeigt. Die Helligkeit der Lampe kann in diesem Falle innerhalb weiter Grenzen durch Aenderung der Grösse der isolirten Metallplatte, mit welcher die Belegung verbunden ist, regulirt werden.

Man kann ferner auch Lampen mit einem Einführungsdraht, wie sie in Fig. 116 und Fig. 117 dargestellt sind, zum Leuchten bringen,

wenn man eine Klemme der Lampe mit einer Klemme der Stromquelle und die andere Klemme mit einem isolirten Körper von dem erforderlichen Umfange verbindet. In allen Fällen dient der isolirte Körper dazu, die Energie an den umgebenden Raum abzugeben, und ist einer Rückleitung äquivalent. Offenbar könnte man in den beiden letztgenannten Fällen, anstatt die Drähte mit einem isolirten Körper zu verbinden, Verbindungen mit der Erde herstellen.

Die für den Forscher anregendsten und interessantesten Versuche sind wahrscheinlich die, welche mit luftleeren Röhren ausgeführt wurden. Wie man sich vonvornherein denken kann, ist eine Quelle solcher

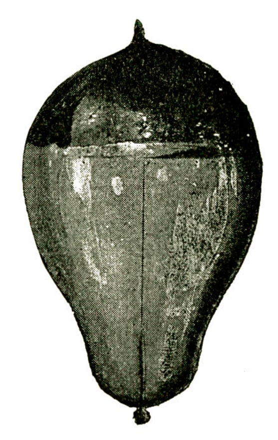


Fig. 122.

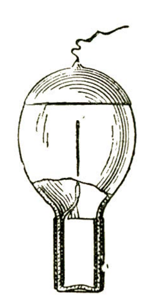


Fig. 123.

rasch wechselnden Spannungen im Stande, die Röhren in beträchtlicher Entfernung zu erregen und bemerkenswerthe Lichteffekte hervorzubringen.

Während meiner Untersuchungen nach dieser Richtung war ich bestrebt, Röhren ohne alle Elektroden durch elektromagnetische Induktion zu erregen, indem ich die Röhre zum Sekundärkreis des Induktionsapparates machte und durch den Primärkreis die Entladungen einer Leydener Flasche hindurchschickte. Die Formen dieser Röhren waren verschiedenartig, und es wurden Lichteffekte erhalten, die ich damals vollständig der elektromagnetischen Induktion zuschrieb. Bei sorgfältiger Untersuchung der Erscheinungen fand ich aber, dass die erzeugten Wirkungen mehr elektrostatischer Natur seien. Es kann diesem Umstande zugeschrieben werden, dass diese Art, die Röhren zu erregen, sehr unökonomisch ist, weil nämlich bei geschlossenem Primärkreise die Spannung und demzufolge auch die elektrostatische Induktionswirkung viel kleiner wird.

Bei Benutzung einer in der oben beschriebenen Weise betriebenen Induktionsspule werden unzweifelhaft die Röhren durch elektrostatische Induktion erregt und elektromagnetische Induktion hat, wenn überhaupt etwas, nur sehr wenig mit der Erscheinung zu thun.

Dies geht aus vielen Versuchen hervor. Wird z. B. eine Röhre in die eine Hand genommen, während sich der Beobachter in der Nähe der Spule befindet, so wird sie brillant erleuchtet und bleibt so, gleichgültig in welcher Lage sie zum Körper des Beobachters gehalten wird. Wäre die Wirkung eine elektromagnetische, so könnte die Röhre nicht erleuchtet werden, wenn der Körper des Beobachters sich zwischen ihr und der Spule befindet, oder wenigstens würde ihre Leuchtkraft erheb-

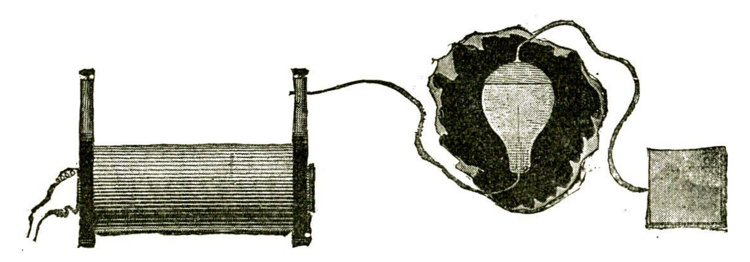


Fig. 124.

lich vermindert sein. Wird die Röhre genau über den Mittelpunkt der Spule gehalten — die letztere ist in Abtheilungen gewickelt und die primäre Spule symmetrisch zur sekundären gelagert —, so bleibt sie vollständig dunkel, während sie intensiv leuchtend wird, wenn man sie vom Mittelpunkt der Spule aus etwas nach links oder rechts bewegt. Sie leuchtet deshalb nicht, weil in der Mitte beide Hälften der Spule einander neutralisiren und die elektrische Spannung Null ist. Wäre die Wirkung eine elektromagnetische, so müsste die Röhre am besten in der durch den Mittelpunkt der Spule gehenden Ebene leuchten, da die elektromagnetische Wirkung daselbst ein Maximum wäre. Wird zwischen den Polen ein Lichtbogen hergestellt, so verlöschen die Röhren und Lampen in der Nähe der Spule, leuchten aber, sobald der Bogen unterbrochen wird, wegen der Erhöhung der Spannung wieder auf. Und doch würde die elektromagnetische Wirkung in beiden Fällen praktisch dieselbe sein.

Stellt man eine Röhre in einiger Entfernung von der Spule und näher an dem einen Pole — am besten in einem Punkte auf der Achse der Spule — auf, so kann man sie dadurch zum Leuchten bringen, dass man den entfernteren Pol mit einem isolirten Körper

von gewissem Umfange oder mit der Hand berührt, wodurch die Spannung an dem der Röhre näher gelegenen Pole steigt. Wird die Röhre näher nach der Spule hin bewegt, so dass sie durch die Wirkung des näheren Poles erleuchtet wird, so kann man sie dadurch zum Verlöschen bringen, dass man mit Hülfe einer isolirten Zange das Ende eines mit dem entfernten Pole verbundenen Drahtes in die Nähe des näher gelegenen Poles hält, wodurch man die Wirkung des letzteren auf die Röhre aufhebt. Diese Wirkungen sind augenscheinlich elektrostatische. Wird ferner eine Röhre in einer beträchtlichen Entfernung von der Spule aufgestellt, so kann der Beobachter, welcher auf einem isolirten Ständer zwischen Spule und Röhre steht, die letztere dadurch zum Leuchten bringen, dass er die Hand derselben nähert, oder er kann sie sogar leuchtend machen, indem er einfach zwischen ihr und der Spule hin- und hergeht. Dies würde bei elektromagnetischer Induktion unmöglich sein, da der Körper des Beobachters wie ein Schirm wirken würde.

Wenn die Spule durch sehr schwache Ströme erregt wird, so kann der Experimentator dadurch, dass er einen Pol der Spule mit der Röhre berührt, die letztere auslöschen und sie wieder aufleuchten lassen, wenn er den Kontakt mit dem Pole aufhebt und einen kleinen Bogen sich bilden lässt. Dies rührt offenbar her von der respektiven Erniedrigung und Erhöhung der Spannung an jenem Pole. In dem obigen Versuch, wo die Röhre mittels eines kleinen Bogens leuchtend wird, kann dieselbe verlöschen, wenn der Bogen unterbrochen wird, da die elektrostatische Induktionswirkung allein zu schwach ist, obwohl die Spannung viel höher sein kann; wird jedoch der Bogen hergestellt, so ist die Elektrisirung am Ende der Röhre viel grösser und dieselbe leuchtet infolgedessen.

Wenn eine Röhre dadurch zum Leuchten gebracht wird, dass man sie nahe an die Spule hält und mit der andern Hand die Röhre irgendwo anfasst, so wird der Theil zwischen den beiden Händen dunkel, und man kann die eigenartige Erscheinung, als ob man das Licht der Röhre auswische, erzeugen, indem man die Hand schnell über die Röhre hinführt und zu gleicher Zeit sie sanft von der Spule wegzieht, wobei man die Entfernung richtig abschätzt derart, dass die Röhre nachher dunkel bleibt.

Wird die primäre Spule seitwärts gestellt, wie z. B. in Fig. 112b, und wird eine luftleer gemachte Röhre von der andern Seite in den hohlen Raum eingeführt, so wird die Röhre sehr intensiv leuchtend wegen der verstärkten Kondensatorwirkung, und in dieser Lage sind

die Schichten sehr scharf begrenzt. In allen diesen beschriebenen Versuchen und in vielen andern ist die Wirkung offenbar eine elektrostatische.

Die Schirmwirkungen weisen ebenfalls auf die elektrostatische Natur der Erscheinungen hin und lassen einigermassen die Natur der Elektrisirung durch die Luft hindurch erkennen. Wird z. B. eine Röhre in die Richtung der Achse der Spule gesetzt, und eine isolirte Metallplatte zwischen sie gebracht, so wird die Röhre im Allgemeinen an Helligkeit zunehmen, oder wenn sie vorher von der Spule zu weit entfernt war, um zu leuchten, so kann sie durch Zwischenschiebung einer isolirten Metallplatte sogar zum Leuchten gebracht werden. Die Grösse der Wirkungen hängt in gewissem Grade von dem Umfange der Platte ab. Wenn die Metallplatte aber mit der Erde durch einen Draht verbunden ist, so wird die Zwischenschiebung derselben die Röhre stets zum Verlöschen bringen, auch wenn sie sehr nahe an der Spule sich befindet. Im Allgemeinen wird durch die Zwischenschiebung eines Körpers zwischen die Spule und die Röhre die Helligkeit der Röhre oder die Leichtigkeit, mit welcher sie aufleuchtet, vermehrt oder vermindert, je nachdem dadurch die Elektrisirung zu- oder abnimmt. Experimentirt man mit einer isolirten Platte, so darf man letztere nicht zu gross nehmen, da sie sonst wegen der grossen Leichtigkeit, mit welcher sie die Energie an die Umgebung abgiebt, im Allgemeinen eine abschwächende Wirkung erzeugt.

Wird eine Röhre in einiger Entfernung von der Spule zum Leuchten gebracht und dann eine Platte aus Hartgummi oder einer andern isolirenden Substanz dazwischen gestellt, so kann die Röhre dadurch verlöschen. Die Zwischenschiebung des Dielektrikums vermehrt in diesem Falle die induktive Wirkung nur wenig, vermindert aber erheblich die Elektrisirung durch die Luft hindurch.

In allen Fällen also, wo wir evakuirte Röhren mit Hülfe einer solchen Spule zum Leuchten bringen, rührt die Wirkung von der rasch wechselnden elektrostatischen Spannung her, und im Weiteren muss sie dem direkt von der Maschine erzeugten harmonischen Stromwechsel und nicht etwa einer Uebereinanderlagerung von Schwingungen, die man sich als vorhanden denken könnte, zugeschrieben werden. Solche übereinandergelagerten Schwingungen sind unmöglich, wenn man mit einer Wechselstrommaschine arbeitet. Wird eine Feder allmählich gespannt und wieder losgelassen, so führt sie keine unabhängigen Schwingungen aus; hierzu ist ein plötzliches Loslassen erforderlich. So ist es auch mit den Wechselströmen einer Dynamomaschine; das Medium wird in

harmonischer Weise gespannt und wieder entspannt, wodurch nur eine Art von Wellen entsteht; für die Erzeugung übereinandergelagerter Wellen ist ein plötzlicher Kontakt oder eine plötzliche Unterbrechung oder auch ein plötzliches Nachgeben des Dielektrikums, wie bei der disruptiven Entladung einer Leydener Flasche, wesentlich.

Bei allen zuletzt beschriebenen Versuchen können Röhren ohne Elektroden benutzt werden und es hat keine Schwierigkeit, mit Hülfe derselben genügend Licht zu erzeugen, um dabei lesen zu können. Die Lichtwirkung wird indessen beträchtlich verstärkt durch Verwendung phosphorescirender Körper, wie Yttrium- und Uranglas u. s. w. Bei der Verwendung phosphorescirenden Materials begegnet man jedoch einer Schwierigkeit; dasselbe wird nämlich bei diesen kräftigen Wirkungen nach und nach weggerissen und es ist besser, Material in der Form eines festen Körpers zu verwenden.

Statt zur Beleuchtung der Röhre die Induktion in die Ferne zu benutzen, kann man die Röhre auch mit einer äusseren und, wenn gewünscht, auch mit einer inneren Kondensatorbelegung versehen und sie dann irgendwo in dem Raume an einem Leiter aufhängen, der mit der einen Klemme der Spule verbunden ist. Auf diese Weise kann man eine angenehm milde Beleuchtung herstellen.

Die ideale Art, einen Saal oder ein Zimmer zu beleuchten, würde jedoch darin bestehen, dass man in demselben solche Verhältnisse herzustellen sucht, dass ein Beleuchtungskörper in ihm bewegt und irgend wohin gesetzt werden könnte und dass derselbe leuchtet, wohin man ihn auch setzen möge und ohne dass er mit irgend etwas elektrisch verbunden ist. Ich war im Stande, solche Verhältnisse herbeizuführen, indem ich in dem Zimmer ein kräftiges rasch wechselndes elektrostatisches Feld erzeugte. Zu diesem Zwecke hing ich in einiger Entfernung von der Decke ein Metallblech an isolirenden Schnüren auf und verband dasselbe mit der einen Klemme der Induktionsspule, während die andere Klemme am besten mit der Erde verbunden wurde. Oder ich hing, wie in Fig. 125 dargestellt, zwei Bleche auf, von denen jedes mit einer der Klemmen der Spule verbunden und deren Grösse sorgfältig bestimmt war. Eine evakuirte Röhre kann dann in der Hand irgend wohin zwischen die Bleche geführt oder an irgend einen Platz, selbst in eine gewisse Entfernung jenseits derselben, gehalten werden und sie wird stets leuchtend bleiben.

In einem solchen elektrostatischen Felde kann man interessante Erscheinungen beobachten, besonders wenn die Zahl der Stromwechsel niedrig und die Spannungen ausserordentlich hoch gehalten werden. Ausser

den erwähnten Lichterscheinungen bemerkt man, dass jeder isolirte Leiter Funken giebt, wenn die Hand oder irgend ein anderer Gegenstand demselben genähert wird, und diese Funken können recht kräftig sein. Wird ein grosser leitender Gegenstand auf einem isolirenden Ständer befestigt und die Hand demselben genähert, so fühlt man ein Zittern, welches von der rythmischen Bewegung der Luftmoleküle herrührt, und nimmt Lichtstömungen wahr, wenn die Hand in die Nähe eines spitzen Vorsprunges gehalten wird. Bringt man einen Telephonempfänger mit einem seiner Pole oder auch mit beiden mit einem isolirten Leiter von gewisser Grösse in Berührung, so sendet das Telephon einen lauten Ton aus; es sendet ebenfalls einen Ton aus, wenn ein Stück Draht mit einem oder

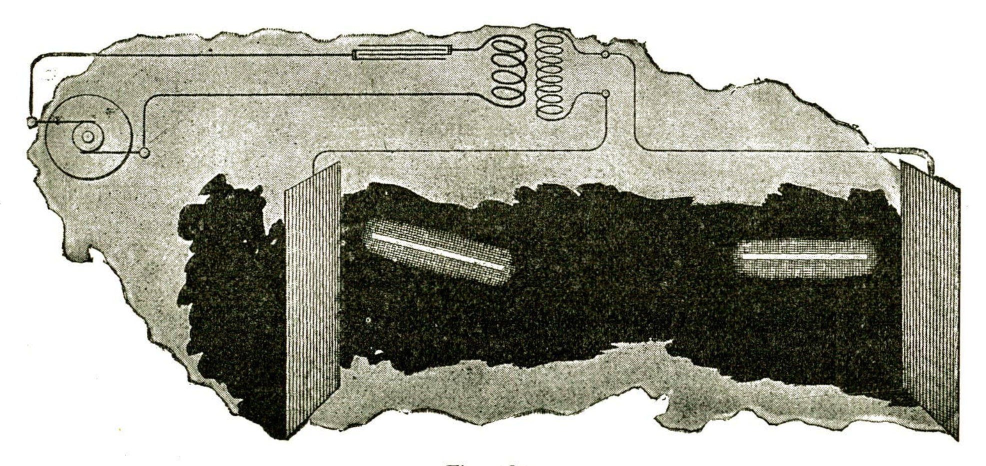


Fig. 125.

mit beiden Polen verbunden wird, und bei sehr kräftigen Feldern kann man einen Ton auch ohne irgend einen Draht hören.

Wie weit dieses Princip einer praktischen Anwendung fähig ist, wird die Zukunft lehren. Man könnte glauben, dass elektrostatische Effekte für solche Wirkungen in die Ferne ungeeignet seien; elektromagnetische Induktionswirkungen, falls dieselben zur Lichterzeugung verwendbar sind, könnte man für besser geeignet halten. Allerdings nehmen die elektrostatischen Wirkungen nahezu mit dem Kubus der Entfernung von der Spule ab, während die elektromagnetischen Induktionswirkungen einfach mit der Entfernung abnehmen. Wenn wir aber ein elektrostatisches Kraftfeld herstellen, so liegen die Verhältnisse ganz anders, denn dann haben wir anstatt der Differentialwirkung beider Pole deren vereinigte Wirkung. Ausserdem möchte ich darauf aufmerksam

machen, dass in einem wechselnden elektrostatischen Felde ein Leiter, wie z. B. eine evakuirte Röhre, den grössten Theil der Energie in sich aufzunehmen strebt, während in einem wechselnden elektromagnetischen Felde der Leiter die wenigste Energie aufzunehmen sucht, indem die Wellen mit nur geringem Verlust reflektirt werden. Dies ist einer der Gründe, weshalb es schwierig ist, eine evakuirte Röhre auf einige Entfernung durch elektromagnetische Induktion zu erregen. Ich habe Spulen von sehr grossem Durchmesser und vielen Drahtwindungen gewickelt und eine Geissler'sche Röhre mit den Enden der Spule verbunden in der Absicht, die Röhre auf einige Entfernung hin zu erregen; aber auch durch die kräftigen induktiven Wirkungen, wie sie durch die Entladungen einer Leydener Flasche hervorgebracht werden können, konnte die Röhre nur auf sehr kleine Entfernungen hin erregt werden, obwohl die Dimensionen der Röhre schon einigermassen darnach eingerichtet waren. Ich habe ferner gefunden, dass auch die kräftigsten Entladungen von Leydener Flaschen in einer geschlossenen luftleeren Röhre nur schwache Lichtwirkungen zu erregen vermochten, und auch diese Wirkungen war ich nach reiflicher Ueberlegung genöthigt als von elektrostatischer Natur zu betrachten.

Wie können wir dann hoffen, die erforderlichen Wirkungen mittels elektromagnetischer Induktion in der Ferne zu erzeugen, wenn wir selbst in der nächsten Nähe der Störungsquelle und unter den günstigsten Verhältnissen nur ein ganz schwaches Leuchten hervorbringen können? Allerdings kann uns, wenn wir in die Ferne wirken wollen, die Resonanz aushelfen. Wir können eine luftleere Röhre, oder welches immer die Beleuchtungsvorrichtung sein möge, mit einem isolirten System von geeigneter Kapacität verbinden und dadurch kann es möglich sein, die Wirkung qualitativ, aber nur qualitativ, zu verstärken, da wir durch den Beleuchtungskörper hindurch nicht mehr Energie erhalten würden. So können wir durch Resonanzwirkung die erforderliche elektromotorische Kraft in einer luftleeren Röhre erhalten und schwache Lichtwirkungen erregen, wir können aber nicht genug Energie erreichen, um das Licht praktisch verwendbar zu machen, und eine auf experimentelle Ergebnisse sich gründende einfache Rechnung zeigt, dass, selbst wenn die gesammte Energie, welche eine Röhre bei einer gewissen Entfernung von der Quelle erhält, vollständig in Licht umgesetzt würde, dasselbe kaum den praktischen Anforderungen genügen würde. Hieraus ergiebt sich die Nothwendigkeit, mittels eines leitenden Stromkreises die Energie nach dem Orte der Umsetzung hinzuleiten. Thun wir aber dies, so können wir von den gegenwärtig verwendeten Methoden nicht erheblich abweichen

und alles, was wir thun könnten, würde in einer Verbesserung der Apparate bestehen.

Aus diesen Betrachtungen ist ersichtlich, dass, wenn man diese ideale Art der Beleuchtung in die Praxis einführen wollte, es nur mit Anwendung elektrostatischer Wirkungen geschehen könnte. In einem solchen Falle sind die stärksten elektrostatischen Induktionswirkungen erforderlich; die verwendeten Apparate müssen daher im Stande sein, hohe elektrostatische Potentiale, deren Werth sich mit ausserordentlicher Schnelligkeit ändert, zu erzeugen. Insbesondere sind hohe Frequenzen erforderlich, da praktische Erwägungen es wünschenswerth machen, die Spannung nicht zu hoch zu nehmen. Durch die Anwendung von Maschinen oder, allgemein gesprochen, von irgend welchen mechanischen Apparaten lassen sich aber nur geringe Frequenzen erreichen; man muss daher zu andern Hülfsmitteln seine Zuflucht nehmen. Die Entladung eines Kondensators bietet uns ein Mittel, bei weitem höhere Frequenzen zu erreichen, als auf mechanischem Wege zu erhalten sind, und ich habe daher bei den zu obigem Zwecke angestellten Versuchen Kondensatoren angewendet.

Wenn die Klemmen einer Induktionsspule hoher Spannung mit einer Leydener Flasche verbunden werden (Fig. 126) und die letztere in einen Stromkreis disruptiv entladen wird, so können wir den zwischen den Knöpfen spielenden Bogen als eine Quelle von Wechselströmen oder, allgemein gesprochen, von undulirenden Strömen betrachten und wir haben es dann mit dem bekannten System, bestehend aus einem Erzeuger solcher Ströme, einem mit demselben verbundenen Stromkreise und einem den Stromkreis überbrückenden Kondensator zu thun. Der Kondensator ist in solchem Falle ein wirklicher Transformator, und da die Frequenz ausserordentlich hoch ist, so lässt sich fast jedes Verhältniss in der Stärke der Ströme in beiden Zweigen erreichen. In Wirklichkeit ist die Analogie nicht ganz vollkommen, denn in der disruptiven Entladung haben wir in allgemeinster Weise eine fundamentale augenblickliche Variation von verhältnissmässig niedriger Frequenz und eine darübergelagerte harmonische Schwingung und die das Fliessen der Ströme regirenden Gesetze sind in beiden Fällen nicht die gleichen.

Bei einer derartigen Umsetzung sollte das Umsetzungsverhältniss nicht zu gross sein, denn der Verlust in dem Bogen zwischen den Knöpfen wächst mit dem Quadrat des Stromes, und wenn die Flasche durch sehr dicke und kurze Leiter entladen wird, um eine sehr rasche Oscillation zu erhalten, so geht ein sehr beträchtlicher Theil der aufgespeicherten Energie verloren. Andererseits sind aus vielen naheliegenden Gründen zu kleine Umsetzungsverhältnisse nicht praktisch.

Da die transformirten Ströme in einem praktisch geschlossenen Stromkreise fliessen, so sind die elektrostatischen Wirkungen nothwendig klein und ich wandele sie daher in Ströme oder Wirkungen der gewünschten Art um. Solche Umwandelungen habe ich auf mehrere Arten vorgenommen. Das vorzugsweise benutzte Schema der Verbindungen ist in Fig. 127 dargestellt. Die Art der Operation ermöglicht es, mit Hülfe eines kleinen und wenig kostspieligen Apparates enorme Spannungsdifferenzen zu erzeugen, die man sonst nur mittels grosser und theuerer Spulen erhalten konnte. Zu diesem Zwecke braucht man nur eine gewöhnliche kleine Spule zu nehmen, mit derselben einen Kondensator und Entlader, der den Primärkreis einer kleinen Hülfsspule bildet, zu ver-

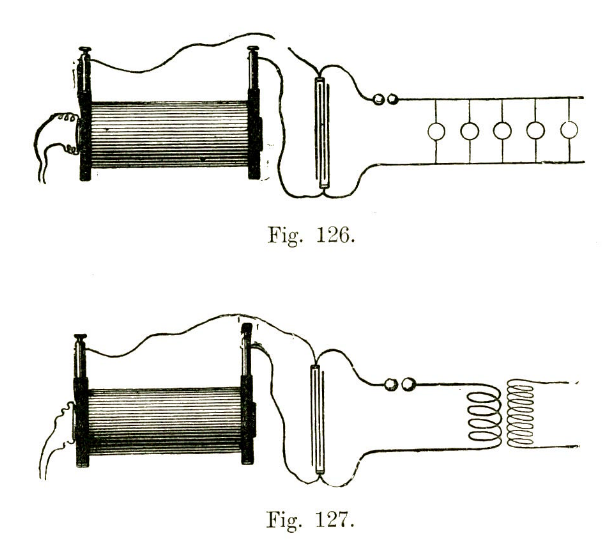


Fig. 126.

Fig. 127.

binden und nach aufwärts zu transformiren. Da die induktive Wirkung der primären Ströme ausserordentlich gross ist, so braucht die zweite Spule nur verhältnissmässig wenige Windungen zu haben. Durch zweckmässige Adjustirung der Elemente kann man bemerkenswerthe Resultate erhalten.

Bei meinen Bemühungen, die erforderlichen elektrostatischen Wirkungen in dieser Weise zu erhalten, bin ich, wie sich erwarten liess, vielen Schwierigkeiten begegnet, die ich nach und nach überwunden habe, doch bin ich gegenwärtig noch nicht in der Lage, meine Erfahrung in dieser Richtung mitzutheilen.

Ich glaube, dass die disruptive Entladung eines Kondensators in Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird, denn sie eröffnet weite Perspektiven nicht nur in Bezug auf eine wirksamere Lichterzeugung nach

der von der Theorie angedeuteten Richtung hin, sondern auch in vielen anderen Beziehungen.

Seit Jahren sind die Bemühungen der Erfinder dahin gerichtet gewesen, elektrische Energie aus Wärme mit Hülfe der Thermosäule zu erhalten. Es könnte als Ueberhebung meinerseits erscheinen, wenn ich bemerke, dass nur wenige Leute wissen, worin die wirkliche Schwierigkeit bei der Thermosäule besteht. Dieselbe besteht nicht in der geringen Wirksamkeit oder der geringen Leistung, obwohl dies grosse Nachtheile sind, sondern in dem Umstande, dass die Thermosäule ihre Phylloxera hat, d. h. dass sie durch beständigen Gebrauch schlechter wird, was bis heute die Einführung derselben in die Industrie verhindert hat. Jetzt, wo alle neueren Untersuchungen mit Sicherheit auf die Verwendung von Elektricität von ausserordentlich hoher Spannung hinzuweisen scheinen, muss sich vielen von selbst die Frage aufdrängen, ob es nicht möglich sei, diese Form der Wärme in praktisch brauchbarer Form zu erhalten. Wir sind gewöhnt gewesen, eine elektrostatische Maschine als ein Spielzeug anzusehen, und verbinden damit gewissermassen den Begriff des Unwirksamen und Unpraktischen. Nunmehr aber müssen wir anders denken, denn wir wissen jetzt, dass wir es überall mit den nämlichen Kräften zu thun haben und dass es bloss eine Frage der Erfindung geeigneter Methoden oder Apparate ist, dieselben nutzbar zu machen.

In den gegenwärtigen Systemen elektrischer Vertheilung macht es uns die Verwendung des Eisens mit seinen wunderbaren magnetischen Eigenschaften möglich, die Grösse der Apparate beträchtlich zu reduciren; trotzdem aber ist sie noch immer sehr beschwerlich. Je weiter wir im Studium der elektrischen und magnetischen Erscheinungen fortschreiten, um so mehr kommen wir zu der Ueberzeugung, dass die gegenwärtigen Methoden nicht von langer Dauer sein werden. Für die Erzeugung von Licht zum mindesten würden solche schweren Maschinen unnöthig sein. Die erforderliche Energie ist sehr gering, und wenn Licht so wirksam erzeugt werden kann, als es theoretisch möglich erscheint, so braucht der Apparat nur eine sehr geringe Leistung zu haben. Da es höchst wahrscheinlich ist, dass die Beleuchtungsmethoden der Zukunft die Verwendung sehr hoher Spannungen bedingen werden, so erscheint es sehr wünschenswerth, eine Vorrichtung, welche die Umwandlung der Energie der Wärme in Energie von der gewünschten Form ermöglicht, zu vervollkommnen. Ueber Versuche, welche zu diesem Zwecke unternommen worden wären, lässt sich nichts berichten, denn der Gedanke, dass Elektricität von einigen 50000 oder 100000 Volt Spannung oder mehr, selbst wenn dieselbe erhältlich wäre, für praktische

Zwecke unverwerthbar sein würde, hat die Erfinder abgeschreckt, nach dieser Richtung hin zu arbeiten.

In Fig. 126 ist ein Schema der Verbindungen dargestellt zur Umwandelung von Strömen hoher in solche niedriger Spannung mit Hülfe der disruptiven Entladung eines Kondensators. Dieses Schema habe ich oft benutzt zum Betriebe einiger Glühlampen, die im Laboratorium gebraucht wurden. Einige Schwierigkeiten machte der Entladungsfunken, doch habe ich dieselben grösstentheils überwinden können. Ausser dieser und der für einen zweckmässigen Betrieb nothwendigen Regulirung sind weitere Schwierigkeiten nicht aufgetreten und es war leicht, gewöhnliche Glühlampen und sogar Motoren auf diese Weise zu betreiben. Da die Linie mit Erde verbunden war, konnte man mit allen Drähten ohne jegliche Gefahr hantiren, gleichgültig wie hoch die Spannung an den Klemmen des Kondensators war. Bei diesen Versuchen wurde eine Induktionsspule hoher Spannung, welche von einer Batterie oder von einer Wechselstrommaschine bethätigt wurde, zur Ladung des Kondensators benutzt; aber die Induktionsspule könnte durch einen Apparat von anderer Art ersetzt werden, der Elektricität von so hoher Spannung zu geben vermag. Auf diese Weise können Gleichströme oder Wechselströme umgewandelt werden und in beiden Fällen können die Stromimpulse von jeder gewünschten Frequenz sein. Wenn die den Kondensator ladenden Ströme von gleicher Richtung sind und man wünscht, dass die transformirten Ströme ebenfalls einerlei Richtung haben sollen, so muss natürlich der Widerstand des Entladungsstromkreises so gewählt werden, dass keine Oscillationen stattfinden.

Bei dem Betriebe von Apparaten nach dem obigen Schema habe ich merkwürdige Impedanz-Erscheinungen beobachtet, welche von Interesse sind. Wenn z. B. eine dicke Kupferstange gebogen wird, wie in Fig. 128 angedeutet, und im Nebenschluss dazu gewöhnliche Glühlampen angebracht werden, so können, wenn die Entladung zwischen den Knöpfen übergeht, die Lampen zum Glühen gebracht werden, obwohl sie kurzgeschlossen sind. Wird eine grosse Induktionsspule angewendet, so kann man leicht Knoten auf der Stange erhalten, welche durch den verschiedenen Grad der Helligkeit der Lampen sichtbar gemacht werden, wie dies in Fig. 128 roh angedeutet ist. Die Knoten sind niemals scharf markirt, sondern sie sind Maxima und Minima der längs der Stange herrschenden Spannung. Dies rührt wahrscheinlich von der Unregelmässigkeit des Bogens zwischen den Knöpfen her. Im Allgemeinen kann man, wenn man die oben beschriebene Methode der Umwandlung von hoher zu niedriger Spannung benutzt, das Verhalten der disruptiven

Entladung genau studiren. Die Knoten können auch mittels eines gewöhnlichen Cardew-Voltmeters, welches gut isolirt sein muss, ermittelt werden. Auch Geissler'sche Röhren können zwischen den Punkten der gebogenen Stange zum Leuchten gebracht werden; in diesem Falle ist es natürlich besser, kleinere Kapacitäten anzuwenden. Ich vermochte in dieser Weise eine Lampe und sogar eine Geissler'sche Röhre, die durch einen kurzen dicken Metallstab nebengeschlossen war, zum Leuchten zu bringen, und dies Resultat erschien auf den ersten Blick sehr merkwürdig. In der That, je dicker die Kupferstange in Fig. 128 ist, um so besser ist dies für den Erfolg der Versuche, da sie dann einen überraschenderen Anblick gewähren. Wenn Lampen mit langen dünnen Fäden benutzt werden, beobachtet man oft, dass die Fäden von Zeit zu Zeit in starke Schwingungen versetzt werden und dass die Schwingungen in den Knotenpunkten am kleinsten sind. Diese Schwingungen scheinen von einer elektrostatischen Wirkung zwischen dem Faden und der Glasbirne herzurühren.

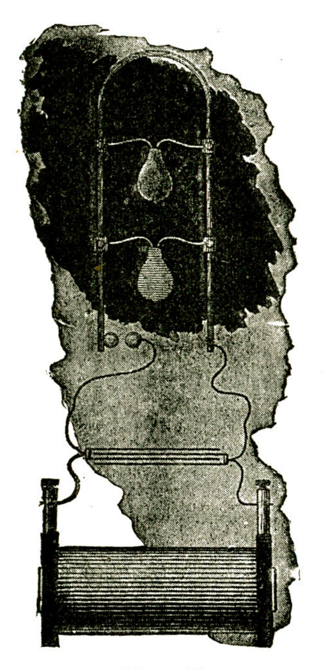


Fig. 128.

Bei einigen der obigen Versuche empfiehlt es sich, besondere Lampen zu benutzen, welche, wie in Fig. 129 dargestellt, einen geraden Kohlenfaden haben. Bei Verwendung einer solchen Lampe kann man eine noch seltsamere Erscheinung, als die vorher beschriebene, beobachten. Die Lampe kann quer zu der Kupferstange angebracht und zum Leuchten gebracht werden, und wenn man etwas grössere Kapacitäten oder, in anderen Worten, geringere Frequenzen oder kleinere scheinbare Widerstände anwendet, so kann man den Faden zu jedem gewünschten Grade des Glühens bringen. Wenn man aber den scheinbaren Widerstand erhöht, so erreicht man einen Punkt, wo verhältnissmässig wenig Strom durch die Kohle und der grösste Theil desselben durch das verdünnte Gas hindurchgeht; oder vielleicht ist es richtiger zu sagen, dass sich der Strom trotz des enormen Unterschiedes im Widerstande nahezu gleichmässig zwischen beiden theilt, und dies würde der Wahrheit entsprechen, wenn sich nicht das Gas und der Faden verschieden verhielten. Man bemerkt dann, dass die ganze Glaskugel brillant erleuchtet ist; und die Enden der Einführungsdrähte werden glühend und sprühen oft Funken

aus infolge des heftigen Bombardements; aber der Kohlenfaden bleibt dunkel. Dies ist in Fig. 129 dargestellt. Anstatt des Fadens kann man auch einen einzigen Draht, der sich durch die ganze Birne erstreckt, benutzen und dann würde die Erscheinung noch interessanter sein.

Aus dem obigen Versuch wird ersichtlich sein, dass, wenn gewöhnliche Lampen durch die transformirten Ströme betrieben werden, vorzugsweise solche genommen werden müssen, bei denen die Platindrähte weit von einander abstehen, und dass die angewendeten Frequenzen nicht zu gross sein dürfen, da sonst die Entladung an den Enden des Fadens oder in der Fassung der Lampe zwischen den Einführungsdrähten erfolgen und die Lampe beschädigt werden könnte.

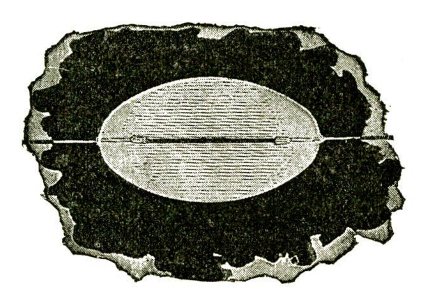


Fig. 129.

Indem ich Ihnen diese Resultate meiner Untersuchungen über den in Rede stehenden Gegenstand vorführte, habe ich manche Thatsachen, über welche ich mich hätte ausführlich verbreiten können, nur vorübergehend berührt und unter den vielen Beobachtungen nur diejenigen ausgewählt, von denen ich annehmen durfte, dass sie Sie am meisten interessiren würden. Das Feld ist weit und vollkommen unerforscht und bei jedem Schritte wird eine neue Wahrheit enthüllt, eine neue Thatsache beobachtet.

Wie weit die hier vorgetragenen Resultate praktischer Anwendungen fähig sind, muss die Zukunft entscheiden. Was die Erzeugung von Licht betrifft, so sind einige bereits erreichten Resultate ermuthigend und lassen mich wagen zu behaupten, dass die praktische Lösung des Problems in der Richtung liegt, die ich anzudeuten gesucht habe. Indessen, was immer auch die unmittelbare Folge dieser Versuche sein möge, sie werden sich, hoffe ich, als ein Schritt zur weiteren Entwickelung zum Ideal und zur schliesslichen Vollkommenheit erweisen. Die Perspektiven, welche durch die moderne Forschung eröffnet wurden, sind so weit, dass auch der Zurückhaltendste sanguinisch in die Zukunft blicken muss. Hervorragende Gelehrte betrachten das Problem der Nutzbarmachung einer Art der Strahlung ohne die andern als ein rationelles. Bei einem Apparate, der zur Erzeugung von Licht durch Umwandlung aus irgend einer Form der Energie in diejenige des Lichtes dient, kann ein solches Resultat nie erreicht werden; denn wie beschaffen auch immer der Process der Erzeugung der erforderlichen Schwingungen

sein möge, mag er elektrischer, chemischer oder irgend einer anderen Natur sein, es wird nicht möglich sein, die höheren Lichtschwingungen zu erzeugen, ohne durch die niedrigeren Wärmeschwingungen hindurchzugehen. Es ist dasselbe Problem, wie einem Körper eine gewisse Geschwindigkeit mitzutheilen, ohne durch alle niedrigeren Geschwindigkeiten hindurchzugehen. Es besteht aber die Möglichkeit, Energie nicht nur in der Form von Licht, sondern auch als bewegende Kraft und als Energie von irgend einer andern Form auf etwas direkterem Wege von dem uns umgebenden Medium zu erhalten. Es wird eine Zeit kommen, wo sich dies erfüllt, und die Zeit ist bereits gekommen, wo man solche Worte vor einer erleuchteten Zuhörerschaft äussern darf, ohne als Träumer betrachtet zu werden. Wir sausen durch den endlosen Raum mit unbegreiflicher Geschwindigkeit, alles um uns her dreht sich, alles bewegt sich, überall ist Energie. Es muss irgend einen Weg geben, auf dem wir diese Energie in direkterer Weise nutzbar machen können. Mit dem aus dem Medium erhaltenen Lichte, mit der von ihm entlehnten Kraft, mit jeder beliebigen ohne Anstrengung aus dem ewig unerschöpflichen Vorrathe erlangten Form von Energie ausgerüstet, wird dann die Menschheit mit Riesenschritten vorwärts schreiten. Die blosse Betrachtung dieser grossartigen Perspektiven erweitert unser Geist, verstärkt unsere Hoffnungen und erfüllt unsere Herzen mit höchstem Entzücken.“

1890

2005

---

27. Kapitel.

Versuche mit Wechselströmen von hoher Spannung und hoher Frequenz.*)

„Ich kann nicht Worte finden, um auszudrücken, wie hoch geehrt ich mich fühle, dass es mir gestattet ist, vor einigen der hervorragendsten Denker unserer Zeit und vor so vielen tüchtigen Gelehrten, Ingenieuren und Elektrikern eines Landes zu reden, welches durch seine wissenschaftlichen Leistungen den ersten Rang einnimmt.

Die Resultate, welche ich die Ehre habe einer erlauchten Versammlung vorzuführen, kann ich nicht für mich allein in Anspruch nehmen. Es sind unter Ihnen nicht wenige, welchen eher wie mir selbst das Verdienst gebührt, welches in dieser Arbeit steckt. Ich brauche nicht

*) Vortrag, gehalten vor der Institution of Electrical Engineers, London, Februar 1892.

viele Namen zu nennen — dieselben sind ja weltbekannt —, die Namen derjenigen unter Ihnen, welche als Führer in dieser bezaubernden Wissenschaft anerkannt sind; aber einen wenigstens muss ich erwähnen, einen Namen, der bei einer Vorführung dieser Art nicht vergessen werden darf. Es ist ein Name, der mit der schönsten Erfindung, die je gemacht wurde, verknüpft ist, der Name Crookes!

Als ich noch auf der Hochschule war, las ich in einer Uebersetzung (denn damals war ich mit Ihrer herrlichen Sprache noch nicht vertraut) die Beschreibung seiner Versuche über strahlende Materie. Ich las sie nur einmal in meinem Leben — zu jener Zeit — und doch kann ich mich aller Einzelheiten jener entzückenden Arbeit bis auf den heutigen Tag erinnern. Es giebt, mit Verlaub zu sagen, nur wenige Bücher, welche auf den Geist eines Studirenden einen solchen Eindruck machen.

Wenn ich aber bei dieser Gelegenheit diesen Namen als einen unter den vielen, auf welche Ihr Verein stolz sein kann, erwähne, so geschieht dies aus mehr als einem Grunde. Denn das, was ich Ihnen heute Abend zu sagen und zu zeigen habe, betrifft zum grossen Theile dasselbe weite Gebiet, welches Professor Crookes so genial durchforscht hat, und mehr als dies, wenn ich den Gedankengang zurückverfolge, der mich zu diesen Fortschritten geführt hat — die auch ich nicht als unbedeutend betrachten kann, da sie von Ihnen so gewürdigt werden —, so glaube ich, dass ihr eigentlicher Ursprung, der mich in dieser Richtung zu arbeiten bestimmt und nach einer langen Zeit beständigen Nachdenkens zu diesen Resultaten geführt hat, jenes fesselnde kleine Buch war, welches ich vor vielen Jahren las.

Und nun, nachdem ich einen schwachen Versuch gemacht habe, ihm meine Ehrerbietung auszudrücken und ihm und andern unter Ihnen meine Dankbarkeit zu bezeugen, will ich den weiteren Versuch machen, Sie zu unterhalten, einen Versuch, den Sie hoffentlich nicht so schwach finden werden wie den ersten.

Gestatten Sie mir, den Gegenstand mit wenigen Worten einzuleiten.

Vor Kurzem hatte ich die Ehre, vor unserem American Institute of Electrical Engineers einige Resultate vorzutragen, zu denen ich auf einem neuen Arbeitsgebiete gelangt war. Ich brauche Ihnen nicht zu versichern, dass die vielen Beweise, welche ich davon erhalten habe, dass englische Gelehrte und Ingenieure an meinen Arbeiten Interesse fanden, für mich eine grosse Anerkennung und Ermuthigung gewesen sind. Ich werde auf die bereits beschriebenen Versuche nicht weiter eingehen,

ausser um einige der von mir früher vorgebrachten Ansichten zu vervollständigen und klarer darzulegen und ferner um die hier vorzutragende Untersuchung im Zusammenhange zu geben und meine Bemerkungen über das Thema folgerecht erscheinen zu lassen.

Diese Untersuchung hat es, wie ich kaum hervorzuheben brauche, mit Wechselströmen und zwar, genauer gesprochen, mit Wechselströmen von hoher Spannung und hoher Frequenz zu thun. In wieweit eine sehr hohe Frequenz für die Erzielung der Resultate wesentlich ist, ist eine Frage, deren Beantwortung mich selbst bei meiner heutigen Erfahrung in Verlegenheit setzen würde. Einige der Versuche können mit niedrigen Frequenzen ausgeführt werden; es sind jedoch sehr hohe Frequenzen wünschenswerth nicht nur mit Rücksicht auf die vielen bei Benutzung derselben erzielten Wirkungen, sondern auch als ein bequemes Mittel, um in den angewendeten Induktionsapparaten die hohen Spannungen zu erhalten, welche ihrerseits zur Demonstration der meisten der hier in Frage kommenden Versuche nothwendig sind.

Von den verschiedenen Zweigen elektrischer Forschung ist vielleicht der interessanteste und am meisten versprechende derjenige, welcher mit Wechselströmen zu thun hat. Der Fortschritt in diesem Zweige der angewandten Elektricitätslehre ist in den letzten Jahren so gross gewesen, dass er zu den sanguinischsten Hoffnungen berechtigt. Kaum sind wir mit einer Thatsache vertraut geworden, so machen wir neue Erfahrungen und neue Bahnen eröffnen sich für die Forschung. Heute sind vorher nie geahnte Möglichkeiten durch Verwendung dieser Ströme zum Theil bereits realisirt. Wie alles in der Natur Ebbe und Fluth, alles Wellenbewegung ist, so scheint es, als ob auch in allen Zweigen der Industrie Wechselströme, d. h. elektrische Wellenbewegungen, die Herrschaft erlangen werden.

Einer der Gründe, weshalb dieser Zweig der Wissenschaft eine so schnelle Entwickelung nimmt, dürfte in dem Interesse zu suchen sein, welches dem experimentellen Studium desselben anhaftet. Wir bewickeln einen einfachen Eisenring mit Spulen, wir stellen die Verbindungen mit dem Generator her und nehmen mit Verwunderung und Entzücken die Wirkungen der seltsamen ins Spiel kommenden Kräfte wahr, welche es uns ermöglichen, nach Belieben Energie zu transformiren, zu übertragen und nach allen Richtungen zu vertheilen. Wir ordnen die Stromkreise passend an und wir sehen die Eisenmasse und die Drähte sich verhalten, als ob ihnen Leben innewohnte, sehen, wie sie einen schweren Anker mittels unsichtbarer Verbindungen mit grosser Geschwindigkeit und Kraft herumdrehen, wozu die Energie vielleicht aus grosser Ent-

fernung hergeleitet ist. Wir beobachten, wie die Energie eines den Draht durchfliessenden Wechselstromes sich — nicht sowohl im Drahte, als in dem umgebenden Raume — in der überraschendsten Weise offenbart und die Form von Wärme, Licht, mechanischer Energie und, am merkwürdigsten von allen, sogar chemischer Verwandtschaft annimmt. Alle diese Beobachtungen fesseln uns und erfüllen uns mit dem lebhaften Wunsche, etwas mehr von der Natur dieser Erscheinungen zu erfahren. Jeden Tag gehen wir an unsere Arbeit in der Hoffnung, etwas zu entdecken, in der Hoffnung, dass einer, gleichgültig wer, eine Lösung eines der schwebenden grossen Probleme finden könne, und jeden folgenden Tag kehren wir zu unserm Werke mit erneutem Eifer zurück; und selbst wenn wir keinen Erfolg gehabt haben, ist unsere Arbeit nicht vergeblich gewesen, da wir in diesen Bestrebungen, diesen Mühen Stunden unsagbaren Vergnügens verbracht und unsere Kräfte zum Wohle der Menschheit angestrengt haben.

Wir können — aufs Gerathewohl — irgend einen der vielen Versuche nehmen, welche mit Wechselströmen angestellt werden können und von denen nur wenige, und durchaus nicht die merkwürdigsten, den Gegenstand meines heutigen Vortrages bilden: sie sind alle in gleicher Weise interessant und regen in gleicher Weise zum Nachdenken an.

Hier ist eine einfache Glasröhre, aus der die Luft zum Theil ausgepumpt ist. Ich nehme sie in die Hand und bringe meinen Körper in Berührung mit einem Drahte, welcher Wechselströme von hoher Spannung führt: die Röhre in meiner Hand wird brillant erleuchtet. In welcher Lage ich sie auch halte, wohin ich sie auch im Raume bringe, so weit als ich reichen kann, ihr weiches angenehmes Licht dauert mit unverminderter Helligkeit an.

Hier ist eine an einem einzigen Drahte aufgehängte luftleere Lampenbirne. Stelle ich mich auf einen isolirten Ständer und fasse die Birne mit der Hand, so wird ein in ihr angebrachter Platinknopf zu lebhaftem Glühen gebracht.

Hier ist an einem Stromzuführungsdrahte eine andere Birne angebracht; sobald ich ihre metallene Fassung berühre, wird die Birne mit phosphorescirendem Lichte von prachtvoller Farbe erfüllt.

Hier ist noch eine andere Birne, welche nach Berührung mit meinen Fingern von dem in ihr befindlichen Stiele einen Schatten — den Crookes'schen Schatten — wirft.

Ich bringe ferner, auf dieser isolirten Plattform stehend, meinen Körper in Berührung mit einer der Klemmen der sekundären Wickelung dieser Induktionsspule, d. h. mit dem Ende eines viele Meilen langen

Drahtes, und Sie sehen Lichtströme aus seinem andern Ende ausbrechen, welches in heftige Schwingung versetzt wird.

Ich befestige jetzt wieder diese beiden Platten aus Drahtgaze an den Klemmen der Spule; ich stelle sie in einem gewissen Abstande von einander auf und setze die Spule in Thätigkeit. Sie können einen kleinen Funken zwischen den Platten überspringen sehen. Ich schiebe nun eine dicke Platte aus einem der besten Dielektriken zwischen die Platten, und anstatt dadurch den Uebergang der Entladung unmöglich zu machen, wie man zu erwarten gewohnt ist, befördere ich den Uebertritt der Entladung, die nur beim Einschieben der Platte ihr Aussehen ändert und die Form leuchtender Strömungen annimmt.

Giebt es, frage ich, ein interessanteres Studium, kann es überhaupt ein interessanteres Studium geben, als das der Wechselströme?

Bei allen diesen Untersuchungen, bei allen diesen Versuchen, die so ausserordentlich interessant sind, haben wir seit vielen Jahren — von der Zeit an, wo der grösste Experimentator, der je in diesem Saale seine Vorlesungen hielt, das Princip desselben entdeckte — einen beständigen Gefährten gehabt, einen jedermannn bekannten Apparat, der ehemals ein Spielzeug, jetzt ein Ding von bedeutender Wichtigkeit geworden ist — die Induktionsspule. Es giebt für den Elektriker keinen kostbareren Apparat. Von dem hervorragendsten Forscher unter Ihnen bis zu mir, Ihrem unerfahrenen Schüler, haben wir alle, ich darf es wohl sagen, viele köstliche Stunden beim Experimentiren mit der Induktionsspule zugebracht. Wir haben ihrem Spiele zugesehen und nachgedacht und gegrübelt über die prachtvollen Erscheinungen, welche sie unsern entzückten Augen enthüllte. So wohl bekannt ist dieser Apparat, so vertraut sind diese Erscheinungen einem jeden, dass mir beinahe der Muth entfällt, wenn ich daran denke, dass ich es gewagt habe, vor einer so gelehrten Zuhörerschaft zu reden, dass ich mich erkühne, Sie über diesen selben längst bekannten Gegenstand zu unterhalten. Hier ist in Wirklichkeit derselbe Apparat und hier sind die gleichen Erscheinungen, nur wird der Apparat in etwas anderer Weise betrieben, die Erscheinungen werden in etwas verschiedener Gestalt vorgeführt. Einige der Resultate sind so, wie wir es erwarteten, andere überraschen uns, alle aber fesseln unsere Aufmerksamkeit, denn bei wissenschaftlichen Untersuchungen kann jedes neue Resultat den Ausgangspunkt für neue Forschungen bilden, jede neu erkannte Thatsache zu wichtigen Entwickelungen führen.

Bei dem Arbeiten mit einer Induktionsspule erzeugte man in der Regel eine Schwingung von mässiger Frequenz im primären Kreise entweder

mit Hülfe eines Unterbrechers oder durch Anwendung einer Wechselstrommaschine. Frühere englische Forscher, um nur Spottiswoode und J. E. H. Gordon zu erwähnen, benutzten einen schnell wirkenden Unterbrecher in Verbindung mit der Spule. Unsere gegenwärtige Kenntniss und Erfahrung setzt uns in den Stand, deutlich zu erkennen, warum diese Spulen unter den fraglichen Verhältnissen keine irgendwie bemerkenswerthen Erscheinungen ans Licht brachten oder warum tüchtige Experimentatoren nicht im Stande waren, manche der seltsamen Wirkungen zu entdecken, welche wir seitdem beobachtet haben.

Bei derartigen Versuchen, wie sie heute Abend hier vorgeführt werden sollen, bethätigen wir die Spule entweder mittels einer besonders konstruirten Wechselstrommaschine, welche viele Tausend Stromumkehrungen per Sekunde zu geben vermag, oder wir erzeugen dadurch, dass wir einen Kondensator disruptiv durch den Primärkreis hindurch entladen, eine Schwingung in dem sekundären Stromkreise von einer Frequenz von vielen Hunderttausenden oder Millionen per Sekunde, wenn wir wollen; und indem wir uns eines dieser beiden Hülfsmittel bedienen, betreten wir ein bis dahin unerforschtes Gebiet.

Es ist unmöglich, eine Untersuchung auf einem neuen Felde zu verfolgen, ohne schliesslich irgend eine interessante Beobachtung zu machen oder irgend eine nützliche Thatsache zu erfahren. Dass diese Bemerkung auch auf den Gegenstand dieses Vortrages anwendbar ist, davon werden die vielen merkwürdigen und unerwarteten Erscheinungen, die wir beobachten werden, einen überzeugenden Beweis erbringen. Zur Erläuterung nehmen wir beispielsweise die am nächsten liegenden Erscheinungen, nämlich diejenigen der Entladung der Induktionsspule.

Hier ist eine Spule, welche von ausserordentlich rasch vibrirenden Strömen bethätigt wird, die durch disruptive Entladung einer Leydener Flasche erhalten werden. Es würde einen Studirenden nicht überraschen, wenn der Vortragende sagte, die sekundäre Wickelung dieser Spule bestehe aus einer geringen Länge von verhältnissmässig dickem Drahte; es würde ihn nicht überraschen, wenn der Vortragende behauptete, die Spule vermöge trotzdem jede Spannung zu geben, welcher die beste Isolation der Windungen zu widerstehen im Stande ist; obwohl er aber vorbereitet und selbst gleichgültig gegenüber dem vorausgesagten Resultate sein könnte, würde ihn doch der Anblick der Entladung der Spule überraschen und interessiren. Jeder kennt die Entladung einer gewöhnlichen Spule, dieselbe brauchte daher hier nicht nochmals vorgeführt zu werden. Des Kontrastes wegen aber ist hier eine Form der Entladung einer Spule, deren Primärstrom mehrere hunderttausend Mal in der

Sekunde vibrirt. Die Entladung einer gewöhnlichen Spule sieht aus wie eine einfache Linie oder ein Lichtstreifen. Die Entladung dieser Spule tritt in der Form mächtiger Büschel und leuchtender Strömungen auf, die von allen Punkten der beiden geraden Drähte ausgehen, welche mit den Enden der sekundären Wickelung verbunden sind (Fig. 130).

Nun vergleichen Sie diese Erscheinungen, welche sie eben gesehen haben, mit der Entladung einer Holtz'schen oder Wimshurst'schen Maschine, jenem anderen interessanten und dem Experimentator so kostbaren Apparate. Welch' ein Unterschied besteht zwischen diesen Erscheinungen! Und doch, hätte ich die nöthigen Vorkehrungen getroffen — dieselben wären leicht herzustellen gewesen, wenn sie nicht die andern Versuche behinderten —, so würde ich mit dieser Spule Funken hervorbringen können, die, wenn die Spule Ihren Blicken entzogen und nur zwei Knöpfe zu sehen wären, auch der scharfsichtigste Beobachter unter Ihnen nur schwer oder überhaupt nicht von denjenigen einer Influenz- oder Reibungsmaschine unterscheiden könnte. Man kann diese auf viele Arten herstellen, beispielsweise dadurch, dass man die den Kondensator ladende Induktionsspule mittels einer Wechselstrommaschine von sehr niedriger Frequenz bethätigt und den Entladungsstromkreis so adjustirt, dass keine Oscillationen in demselben stattfinden. Wir erhalten dann in dem sekundären Stromkreise, wenn die Knöpfe von der erforderlichen Grösse und in die richtige Entfernung von einander gebracht sind, eine mehr oder weniger rasche Aufeinanderfolge von Funken von grosser Intensität und geringer Strommenge, welche die gleiche Helligkeit besitzen und von demselben scharfen knatternden Geräusch begleitet sind, wie die, welche von einer Reibungs- oder Influenzmaschine herrühren.

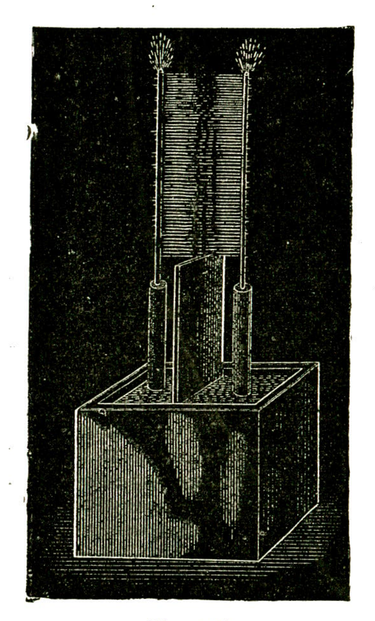


Fig. 130.

Ein zweites Verfahren besteht darin, durch zwei primäre Stromkreise, welche einen gemeinschaftlichen Sekundärkreis besitzen, zwei Ströme von nur wenig verschiedener Periode hindurch zu senden, welche in dem sekundären Stromkreise Funken erzeugen, die nur in verhältnissmässig langen Zwischenräumen auftreten. Aber selbst mit den be-

schränkten mir heute Abend zur Verfügung stehenden Hülfsmitteln bin ich im Stande, den Funken einer Holtz'schen Maschine nachzuahmen. Zu diesem Zwecke stelle ich zwischen den Polen der den Kondensator ladenden Spule einen langen veränderlichen Bogen her, der durch den von ihm erzeugten aufwärts steigenden Luftstrom periodisch unterbrochen wird. Um den Luftstrom zu verstärken, stelle ich auf jeder Seite des Bogens und dicht an demselben eine grosse Glimmerplatte auf. Der von dieser Spule geladene Kondensator entladet in den Primärkreis einer zweiten Spule durch eine kleine Luftstrecke hindurch, welche erforderlich ist, um einen plötzlichen Stromstoss durch den Primärkreis zu erzeugen. Das Schaltungsschema für den vorliegenden Versuch ist in Fig. 131 angedeutet.

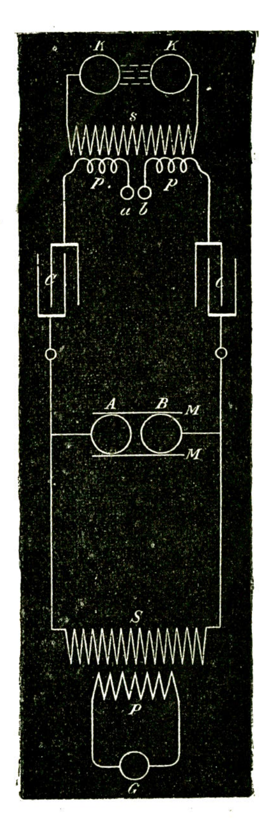


Fig. 131.

G ist eine Wechselstrommaschine von gewöhnlicher Konstruktion, welche den Primärkreis P einer Induktionsspule speist, deren sekundärer Stromkreis S die Kondensatoren oder Flaschen CC ladet. Die Enden des sekundären Kreises sind mit den inneren Belegungen der Flaschen verbunden, während die äusseren Belegungen mit den Enden der primären Wickelung pp einer zweiten Induktionsspule in Verbindung stehen. Dieser Primärkreis pp hat einen kleinen Luftzwischenraum ab. Der Sekundärkreis s dieser Spule ist mit Knöpfen oder Kugeln KK von passender Grösse versehen, die in einer für den Versuch geeigneten Entfernung von einander angebracht sind.

Zwischen den Polen AB der ersten Induktionsspule wird ein langer Bogen hergestellt. MM sind die Glimmerplatten.

Jedesmal, wenn der Bogen zwischen A und B unterbrochen wird, werden die Flaschen schnell geladen und durch den Primärkreis pp entladen, wodurch ein Funken zwischen den Knöpfen KK hervorgebracht wird. Nachdem der Bogen zwischen A und B sich gebildet hat, fällt das Potential, und die Flaschen können nicht zu so hoher Spannung geladen werden, dass der Luftraum ab durchschlagen wird, bis der Bogen wiederum durch den Luftzug unterbrochen wird.

Auf diese Weise werden in dem primären Kreise *pp* plötzliche Stromstösse in langen Zwischenräumen erzeugt, welche in dem sekundären Kreise *s* eine entsprechende Anzahl von Stromstössen von grosser Intensität ergeben. Wenn die sekundären Knöpfe oder Kugeln *KK* die geeignete Grösse haben, so zeigen die Funken grosse Aehnlichkeit mit denjenigen einer Holtz'schen Maschine.

Diese beiden Wirkungen aber, die dem Auge so verschieden erscheinen, sind nur zwei von den vielen Entladungserscheinungen. Wir brauchen nur die Versuchsbedingungen zu ändern, um wiederum andere interessante Beobachtungen zu machen.

Wenn man die Induktionsspule nicht in der Weise, wie in den letzten beiden Versuchen, sondern mittels einer Wechselstrommaschine von hoher Frequenz, wie in dem nächsten Versuche, bethätigt, so wird dadurch ein systematisches Studium der Erscheinungen bedeutend erleichtert. In einem solchen Falle kann man durch Veränderung der Stärke und Frequenz der die primäre Spule durchfliessenden Ströme fünf verschiedene Formen der Entladung beobachten, die ich in meinem früheren Vortrage über diesen Gegenstand vor dem American Institute of Electrical Engineers am 20. Mai 1891 beschrieben habe.

Es würde zu viel Zeit in Anspruch nehmen und uns zu weit von dem für heute Abend in Aussicht genommenen Thema abführen, wollte ich alle diese Formen hier wiederholen, indessen erscheint es mir wünschenswerth, Ihnen eine derselben vorzuführen. Es ist eine Büschelentladung, die in mehr als einer Beziehung interessant ist. In der Nähe betrachtet, ist sie einer unter grossem Druck brennenden Gasflamme sehr ähnlich. Wir wissen, dass die Erscheinung auf der raschen Hin- und Herbewegung der Moleküle in der Nähe der Elektrode beruht, und können uns denken, dass durch den Anprall der Moleküle gegen die Elektrode oder gegen einander eine gewisse Wärme entwickelt werden muss. In der That finden wir, dass das Büschel heiss ist, und nur ein wenig Nachdenken führt uns zu dem Schlusse, dass wir, wenn wir nur genügend hohe Frequenzen erreichen könnten, ein Lichtbüschel zu erzeugen vermöchten, welches intensives Licht und Wärme geben und in jeder Hinsicht einer gewöhnlichen Flamme gleichen würde, abgesehen vielleicht davon, dass beide Erscheinungen nicht von demselben Agens herrühren, d. h. abgesehen vielleicht davon, dass chemische Verwandtschaft seiner Natur nach nicht elektrisch ist.

Da die Erzeugung von Wärme und Licht hier von dem Anprall der Moleküle oder Luftatome oder dergleichen herrührt, und da wir die Energie einfach durch Erhöhung der Spannung vergrössern können, so

würden wir, auch bei den Frequenzen, wie wir sie bei einer Dynamomaschine erzielen können, die Wirkung derart verstärken können, dass die Elektrode auf die Schmelztemperatur gebracht wird. Bei so niedrigen Frequenzen würden wir es aber stets mit etwas einem elektrischen Strome Aehnlichem zu thun haben. Nähere ich dem Büschel einen leitenden Gegenstand, so geht ein kleiner Funken über, obwohl, selbst bei den heute Abend benutzten Frequenzen, das Bestreben, Funken zu erzeugen, nicht sehr gross ist. Halte ich z. B. eine Metallkugel in einiger Entfernung über die Elektrode, so sehen Sie den ganzen Raum zwischen der Elektrode und der Kugel durch Lichtströme erleuchtet, ohne dass Funken überspringen, und bei den viel höheren Frequenzen, welche sich durch disruptive Entladung eines Kondensators erreichen lassen, würden Funken, selbst bei sehr geringen Entfernungen, nicht vorkommen, wenn dies nicht etwa wegen der verhältnissmässig selten auftretenden plötzlichen Stromstösse geschähe. Bei unverhältnissmässig höheren Frequenzen aber, für deren erfolgreiche Erzeugung wir vielleicht noch einmal Mittel finden werden, und vorausgesetzt dass elektrische Impulse von so hohen Frequenzen mittels eines Leiters übertragen werden können, würden die elektrischen Merkmale der Büschelentladung vollständig verschwinden; es würde kein Funken übertreten, kein Schlag gefühlt werden, und gleichwohl würden wir es mit einer elektrischen Erscheinung, allerdings in dem weiten modernen Sinne des Wortes, zu thun haben. In meinem ersten, zuvor erwähnten Vortrage habe ich bereits die merkwürdigen Eigenschaften des Lichtbüschels dargelegt und die beste Art, dasselbe hervorzubringen, beschrieben, ich bin aber hier bestrebt gewesen, mich bezüglich dieser Erscheinung wegen ihres hervorragenden Interesses etwas klarer auszudrücken.

Wenn eine Spule mit Strömen von sehr hoher Frequenz betrieben wird, so können schöne Büschelwirkungen hervorgebracht werden, auch wenn die Spule von vergleichsweise kleinen Dimensionen ist. Der Experimentator kann sie auf viele Arten variiren, und geschähe dies auch zu keinem andern Zwecke, als weil sie einen hübschen Anblick darbieten. Das Interesse an ihnen wird aber wesentlich dadurch erhöht, dass sie ebenso gut mit einer einzigen wie mit zwei Elektroden erzeugt werden können — manchmal in der That besser mit einer als mit zweien.

Von allen Entladungserscheinungen aber, welche beobachtet worden sind, sind diejenigen, welche mit einer mittels der disruptiven Entladung eines Kondensators bethätigten Spule erhalten werden, die dem Auge angenehmsten und lehrreichsten. Die Mächtigkeit der Büschel, die Fülle

der Funken, wenn die Verhältnisse mit einiger Geduld richtig abgepasst sind, sind oft erstaunlich. Auch bei einer sehr kleinen Spule, vorausgesetzt dass ihre Isolation einer Spannungsdifferenz von mehreren Tausend Volt per Windung zu widerstehen vermag, können die Funken so zahlreich sein, dass die ganze Spule wie eine feurige Masse aussieht.

Merkwürdig genug scheinen die Funken, wenn die Enden der Spule in erheblichem Abstande von einander sich befinden, nach allen möglichen Richtungen hin zu schiessen, als ob die Enden vollkommen unabhängig von einander wären. Da die Funken die Isolation bald zerstören würden, so muss man sie zu verhüten suchen. Dies geschieht am besten dadurch, dass man die Spule in einen guten flüssigen Isolator, z. B. in gekochtes Oel, eintaucht. Das Eintauchen in eine Flüssigkeit kann beinahe als eine absolute Nothwendigkeit für das fortgesetzte erfolgreiche Arbeiten einer solchen Spule betrachtet werden.

Es kann natürlich bei einem experimentellen Vortrage, bei welchem einem für die Ausführung jedes Versuches nur wenige Minuten zur Verfügung stehen, nicht davon die Rede sein, dass ich Ihnen diese Entladungserscheinungen mit Erfolg vorführen kann, da die möglichst gute Hervorbringung jeder Erscheinung eine sehr sorgfältige Regulirung erfordert. Aber auch wenn unvollkommen ausgeführt, wie es voraussichtlich heute Abend der Fall sein wird, werden sie überraschend genug sein, um eine sachverständige Zuhörerschaft zu interessiren.

Bevor ich Ihnen einige dieser merkwürdigen Wirkungen vorführe, muss ich der Vollständigkeit halber eine kurze Beschreibung der Spule und der anderen Apparate geben, welche ich bei den Versuchen mit der disruptiven Entladung diesen Abend benutzen werde.

Die Spule ist in einem aus dicken Brettern von hartem Holz zusammengebauten Kasten B (Fig. 132) enthalten, welcher aussen mit einem überall sorgfältig verlötheten Zinkblech Z bekleidet ist. Bei einer streng wissenschaftlichen Untersuchung, bei der es sehr auf Genauigkeit ankommt, dürfte es zweckmässig sein, diese Metallbekleidung wegzulassen, da dieselbe hauptsächlich wegen ihrer komplicirten Wirkung auf die Spule, nämlich als Kondensator von sehr geringer Kapacität und als elektrostatischer und elektromagnetischer Schirm, manche Fehler zur Folge haben kann. Wird die Spule aber für solche Versuche, wie sie hier in Frage kommen, benutzt, so bietet die Anwendung der Metallbekleidung einige praktische Vortheile; dieselben sind jedoch nicht wichtig genug, um länger bei ihnen zu verweilen.

Die Spule sollte symmetrisch zur Metallbekleidung angebracht und der Zwischenraum natürlich nicht zu klein, sicher nicht geringer als

etwa 5 cm, wenn möglich aber grösser sein; insbesondere sollten die senkrecht zur Achse der Spule stehenden Seiten des Zinkkastens hinreichend von der Spule entfernt sein, da sie sonst ihre Wirkung schwächen und eine Quelle von Verlusten sein könnten.

Die Spule besteht aus zwei Spulenträgern aus Hartgummi *R R*, welche durch Bolzen *c* und Muttern *n* ebenfalls aus Hartgummi 10 cm von einander entfernt gehalten werden. Jeder Spulenträger enthält ein Rohr *T* von ungefähr 8 cm innerem Durchmesser und 3 mm Dicke, auf

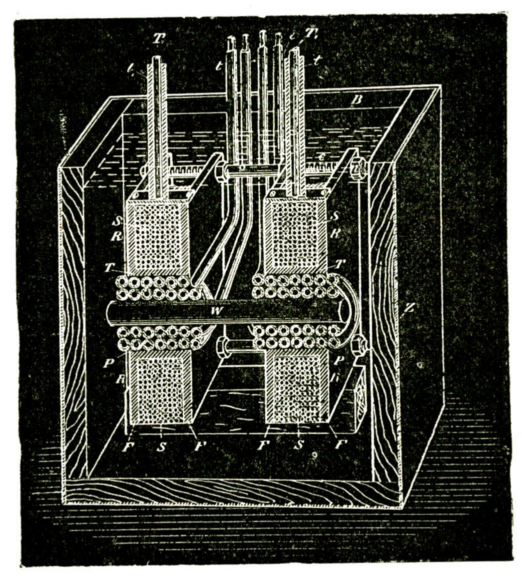


Fig. 132.

welches zwei Flanschen *F F* von 24 cm² Fläche aufgeschraubt sind, so dass der Zwischenraum zwischen den Flanschen etwa 3 cm beträgt. Die aus bestem Gutterperchadraht bestehende sekundäre Spule hat 26 Lagen von je 10 Windungen, so dass die Gesammtzahl der Windungen für jede Hälfte 260 beträgt. Die beiden Hälften sind entgegengesetzt gewickelt und hinter einander geschaltet, und zwar ist die Verbindung zwischen beiden über der Primärspule hergestellt. Diese Anordnung hat ausser ihrer Bequemlichkeit den Vortheil, dass, wenn die Spule gut ausbalancirt ist, d. h. wenn ihre beiden Enden T_1 T_1 mit Körpern oder Apparaten von gleicher Kapacität verbunden sind, keine grosse Gefahr des Durchschlagens nach der primären Spule besteht und dass die Isolation zwischen der primären und der sekundären Spule nicht so dick zu sein braucht. Beim Gebrauche der Spule ist es zweckmässig, an

beide Klemmen Apparate von nahezu gleicher Kapacität anzuschliessen, da, wenn die Kapacität der Enden nicht gleich ist, leicht Funken nach der Primärspule übergehen können. Um dies zu verhüten, kann der Mittelpunkt der sekundären Spule mit der primären verbunden werden, doch ist dies nicht immer praktisch.

Die primäre Wickelung PP ist in zwei entgegengesetzt gewundenen Theilen auf eine hölzerne Spule W aufgewickelt und die vier Enden sind durch Hartgummiröhren $t\ t$ aus dem Oele herausgeführt. Ebenso sind die Enden der sekundären Wickelung $T_1\ T_1$ durch Hartgummiröhren $t_1\ t_1$ von grösserer Dicke aus dem Oele herausgeführt. Die primären und sekundären Lagen sind durch Baumwollenzeug isolirt, wobei sich natürlich die Dicke der Isolation etwas nach der Spannungsdifferenz zwischen den Windungen der verschiedenen Lagen zu richten hat. Jede Hälfte der primären Wickelung hat vier Lagen von je 24 Windungen, also insgesammt 96 Windungen. Werden beide Theile hinter einander geschaltet, so giebt dies ein Umsetzungsverhältniss von 1 : 2,7 und bei Parallelschaltung der Primärwickelungen ein solches von 1 : 5,4. Arbeitet man aber mit sehr rasch alternirenden Strömen, so giebt dieses Verhältniss auch nicht annähernd eine Vorstellung von dem Verhältniss der elektromotorischen Kräfte in dem primären und sekundären Stromkreise. Die Spule wird durch hölzerne Stützen in dem Oele in der richtigen Lage gehalten, derart dass die Oelschicht überall um die ganze Spule etwa 5 cm dick ist. Wo das Oel nicht speciell erforderlich ist, wird der Raum mit Holzstücken ausgefüllt und zu diesem Zwecke dient hauptsächlich der das Ganze umgebende Holzkasten B.

Die hier dargelegte Konstruktion ist natürlich vom allgemeinen Gesichtspunkte aus nicht gerade die beste, doch dürfte dieselbe für die Erzeugung der Wirkungen, bei welchen eine ausserordentlich hohe Spannung und ein sehr kleiner Strom erforderlich sind, geeignet und bequem sein.

In Verbindung mit der Spule benutze ich entweder die gewöhnliche Form des Entladers oder eine modificirte Form. Ich habe bei der ersteren einige Abänderungen vorgenommen, welche einige Vortheile bieten und sich von selbst aufdrängen. Wenn ich dieselben erwähne, so geschieht das nur in der Hoffnung, dass mancher Experimentator aus denselben Nutzen ziehen möchte.

Eine der Aenderungen besteht darin, dass die justirbaren Knöpfe A und B (Fig. 133) des Entladers mittels Federdrucks in Messingbacken JJ derart gehalten werden, dass man sie nach und nach in verschiedene Lagen drehen kann, wodurch man das lästige häufige Wiederaufpoliren vermeidet.

Die andere Aenderung besteht in der Anwendung eines starken Elektromagnets *NS*, welcher mit seiner Achse senkrecht zur Verbindungslinie der Knöpfe *A* und *B* steht und ein starkes magnetisches Feld zwischen ihnen erzeugt. Die Polstücke des Magnets sind beweglich und passend geformt, so dass sie in den Raum zwischen den Messingknöpfen hineinragen, um das Feld so intensiv wie möglich zu machen; um aber die Entladung am Ueberspringen nach dem Magnet zu hindern, sind die Polstücke durch Glimmerlagen *MM* von hinreichender Dicke geschützt. $s_1\, s_1$ und $s_2\, s_2$ sind Schrauben zur Befestigung der Drähte. Eine der Schrauben auf jeder Seite dient zur Befestigung von dicken, die andere zur Befestigung von dünnen Drähten. *LL* sind Schrauben zur Festhaltung der Stangen *RR*, welche die Knöpfe tragen.

Bei einer andern Anordnung des Magneten erzeuge ich die Entladung zwischen den abgerundeten Polstücken selbst, welche in diesem Falle isolirt und am besten mit polirten Messingkappen versehen sind.

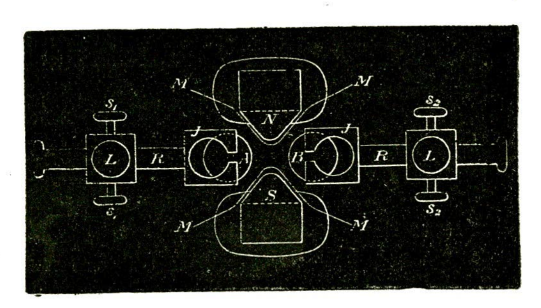


Fig. 133.

Die Verwendung eines intensiven magnetischen Feldes ist hauptsächlich dann von Vortheil, wenn die den Kondensator entladende Induktionsspule oder Transformator von Strömen sehr geringer Frequenz bethätigt wird. In solchem Falle kann die Zahl der Fundamentalentladungen zwischen den Knöpfen so gering sein, dass die in der sekundären Spule erzeugten Ströme für viele Versuche ungeeignet werden. Das intensive magnetische Feld dient dann dazu, den Lichtbogen zwischen den Knöpfen gleich nach seiner Bildung auszublasen, und die Fundamentalentladungen treten dann in rascherer Aufeinanderfolge auf.

An Stelle des Magneten kann auch ein Luftgebläse mit einigem Vortheil verwendet werden. In diesem Falle wird der Bogen am besten zwischen den Knöpfen *A B* in Fig. 131 (während die Knöpfe *a b* im Allgemeinen verbunden oder ganz weggelassen sind) hergestellt, da bei dieser Anordnung der Bogen lang und unbeständig ist und leicht durch den Luftzug beeinflusst wird.

Wird ein Magnet zur Unterbrechung des Bogens angewendet, ist es besser, die in Fig. 134 diagrammatisch angedeutete Schaltung zu

wählen (in welcher *W* eine Wechselstrommaschine niedriger Spannung, *GSp* eine gewöhnliche Spule, *DSp* eine Spule für disruptive Entladung und *K* eine Batterie Leydener Flaschen bedeutet), da in diesem Falle die den Bogen bildenden Ströme viel kräftiger sind und das magnetische Feld einen grösseren Einfluss ausübt. Die Benutzung des Magneten gestattet allerdings, den Bogen durch eine Vakuumröhre zu ersetzen, ich bin jedoch bei dem Arbeiten mit einer luftleeren Röhre auf grosse Schwierigkeiten gestossen.

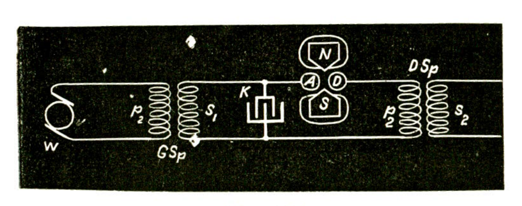


Fig. 134.

Die andere bei diesen und anderen Versuchen benutzte Form des Entladers ist in Fig. 135 und 136 angedeutet. Dieselbe besteht aus einer Anzahl von Messingstücken *c c* (Fig. 135), deren jedes aus einem sphärischen mittleren Theil *m* mit einer nach unten sich erstreckenden Fortsetzung *e* — die nur zur Befestigung des Stückes in einer Drehbank bei der Polirung der Entladungsfläche dient — und einer nach oben gehenden Säule besteht, die einen wulstförmigen Flansch *f* trägt, der sich seinerseits in eine Schraubenspindel *l* fortsetzt; letztere trägt eine Mutter *n*, mittels deren ein Draht an der Säule befestigt wird. Der Flansch *f* dient in bequemer Weise dazu, das Messingstück bei der Befestigung des Drahtes zu halten und ferner auch, um dasselbe in eine andere Lage zu drehen, wenn es erforderlich wird, eine neue Entladungsfläche zu haben. Zwei starke Streifen aus Hartgummi *R R* mit ebenen Vertiefungen *g g* (Fig. 136), welche sich dem mittleren Theile der Stücke *c c* anpassen, dienen dazu, die letzteren festzuklemmen und dieselben mittels zweier (in der Figur ist nur einer dargestellt) durch die Enden der Streifen hindurchgehenden Bolzen *C C* in ihrer Lage fest zu halten.

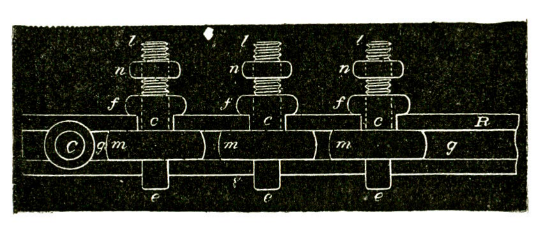


Fig. 135.

Bei der Benutzung dieser Art des Entladers haben sich mir drei Hauptvortheile vor der gewöhnlichen Form ergeben. Erstens ist das Isolationsvermögen eines Luftraumes von gegebener Gesammtbreite grösser, wenn an Stelle eines Luftraumes eine grosse Zahl kleinerer Luftstrecken benutzt wird, wodurch es möglich wird, mit einer kleineren Luftstrecke

zu arbeiten, was einen geringeren Verlust und geringere Abnutzung des Metalls zur Folge hat; zweitens werden dadurch, dass der Lichtbogen in kleinere Bogen zerlegt wird, die polirten Flächen viel länger dauern und drittens bietet der Apparat einen gewissen Maassstab bei den Versuchen. In der Regel setzte ich die Messingstücke, indem ich zwischen sie Platten von gleicher Dicke legte, in eine bestimmte sehr kleine Entfernung von einander, die, wie aus den Versuchen von Sir William Thomson bekannt ist, eine bestimmte elektromotorische Kraft erfordert, um von dem Funken übersprungen zu werden. Natürlich muss man daran denken, dass die Schlagweite mit wachsender Frequenz bedeutend kleiner wird. Dadurch dass der Experimentator eine gewisse Anzahl von Lufträumen nimmt, erhält er eine rohe Vorstellung von der elektromotorischen Kraft, und die Wiederholung eines Versuches wird ihm leichter, da er nicht erst mit vieler Mühe die Knöpfe einzustellen braucht. Mit dieser Art Entlader vermochte ich eine oscillirende Bewegung zu unterhalten, ohne dass mit blossem Auge zwischen den Knöpfen irgend ein Funken sichtbar war. Die Knöpfe werden dabei keine erhebliche Temperaturerhöhung zeigen. Diese Form des Entladers eignet sich ferner sehr gut für viele Anordnungen, bei denen Kondensatoren verwendet werden und die oft sehr bequem sind und Zeit ersparen. Ich habe sie hauptsächlich bei einer der in Fig. 131 angedeuteten ähnlichen Disposition, wo die den Bogen bildenden Ströme sehr klein sind, benutzt.

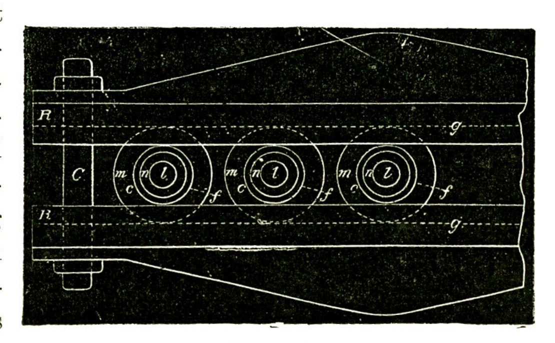


Fig. 136.

Ich will hier erwähnen, dass ich auch Entlader mit einer einzigen oder mit mehreren Luftstrecken benutzt habe, bei welchen die Entladungsflächen mit grosser Geschwindigkeit rotirt wurden. Es wurde jedoch mit dieser Methode kein besonderer Vortheil erzielt, ausser in Fällen, wo die vom Kondensator gelieferten Ströme gross waren und das Kühlhalten der Flächen nothwendig wurde, sowie in Fällen, wo, wenn die Entladung nicht von selbst oscillirte, der Bogen gleich nach seiner Entstehung unterbrochen und dadurch eine Schwingung in sehr rasch auf einander folgenden Zwischenräumen hervorgebracht wurde. Ich habe auch auf mannigfache Weise mechanische Unterbrecher benutzt. Um die

Schwierigkeiten mit den Reibungskontakten zu vermeiden, benutzte ich vorzugsweise die Methode, dass ich einen Lichtbogen herstellte und durch denselben einen mit vielen Löchern versehenen und an einer Stahlplatte befestigten Glimmerreifen rotiren liess. Natürlich bringt die Anwendung eines Magnets, Luftstromes oder anderen Unterbrechers keine bemerkenswerthe Wirkung hervor, wenn nicht die Selbstinduktion, Kapacität und Widerstand in einem derartigen Verhältniss stehen, dass nach jeder Unterbrechung Oscillationen entstehen.

Ich werde Ihnen nun einige der bemerkenswerthesten dieser Entladungserscheinungen vorführen.

Ich habe quer durch das Zimmer zwei gewöhnliche mit Baumwolle umsponnene Drähte von je etwa 7 m Länge ausgespannt. Dieselben werden in Abständen von etwa 30 cm von Seidenschnüren gehalten. Ich befestige nun an jeder der beiden Klemmen der Spule einen der Drähte und setze die Spule in Thätigkeit. Nachdem die Lichter in dem Zimmer ausgelöscht sind, sehen Sie die Drähte von Lichtströmen hell erleuchtet, die trotz der Baumwollenbespinnung, die sogar sehr dick sein kann, von ihrer ganzen Oberfläche ausgehen. Wenn der Versuch unter günstigen Bedingungen angestellt wird, so ist das von den Drähten ausgehende Licht hinreichend stark, um die Gegenstände in einem Zimmer unterscheiden zu können. Um ein möglichst gutes Resultat zu erhalten, muss man natürlich die Kapacität der Flaschen, den Lichtbogen zwischen den Knöpfen und die Länge der Drähte sorgfältig reguliren. Eine Berechnung der Länge der Drähte führt in solchem Falle meiner Erfahrung nach zu gar keinem Resultat. Der Experimentator thut am besten, die Drähte anfangs sehr lang zu nehmen und dann zuerst lange Stücke und dann immer kleinere abzuschneiden, bis er die richtige Länge erreicht hat.

Zweckmässig benutzt man bei diesen und ähnlichen Versuchen einen Oelkondensator von sehr geringer Kapacität, der aus zwei kleinen adjustirbaren Metallplatten besteht. In solchem Falle nehme ich die Drähte ziemlich kurz und gebe anfangs den Kondensatorplatten den grössten Abstand. Wenn die von den Drähten ausgehenden Lichtströme durch Annäherung der Platten stärker werden, so besitzen die Drähte gerade die richtige Länge; nehmen jene dagegen ab, so sind die Drähte für die betreffende Frequenz und Spannung zu lang. Wird ein Kondensator bei Versuchen mit einer solchen Spule benutzt, so muss es durchaus ein Oelkondensator sein, da bei Verwendung eines Luftkondensators beträchtliche Energie vergeudet werden könnte. Die zu den Platten im Oel führenden Drähte müssen sehr dünn, mit einer isolirenden Masse dick

bekleidet und mit einer leitenden Umhüllung versehen sein, die am besten in das Oel hineinragt. Die leitende Umhüllung darf den Enden des Drahtes nicht zu nahe kommen, da sonst leicht Funken von dem Drahte nach ihr überspringen könnten. Diese leitende Umhüllung wird benutzt, um die Verluste in der Luft zu verringern, da sie wie ein elektrostatischer Schirm wirkt. Bezüglich der Grösse des das Oel enthaltenden Gefässes und der Grösse der Platten kann sich der Experimentator durch einen rohen Versuch sogleich ein Urtheil bilden. Die Grösse der Platten in dem Oele lässt sich jedoch auch berechnen, da die Verluste im Dielektrikum sehr klein sind.

Bei dem vorhergehenden Versuch ist es von grossem Interesse, zu wissen, in welcher Beziehung die ausgesandte Lichtmenge zu der Frequenz und Spannnug der elektrischen Impulse steht. Meiner Ansicht nach sollten die hervorgebrachten Wärme- und Lichtwirkungen unter sonst gleichen Verhältnissen dem Produkt aus der Frequenz und dem Quadrat der Spannung proportional sein, indessen würde die experimentelle Bestätigung des Gesetzes, wie beschaffen dasselbe auch sein möge, äusserst schwierig sein. Das Eine ist jedenfalls sicher, dass bei Erhöhung der Spannung und der Frequenz die Lichtströme rasch stärker werden, und es ist, obwohl dies vielleicht etwas sanguinisch erscheinen könnte, doch sicher die Hoffnung nicht ganz unberechtigt, dass man auf diese Weise ein brauchbares Beleuchtungsmittel zu schaffen vermag. Wir würden dann einfach Brenner oder Flammen benutzen können, bei denen kein chemischer Vorgang, kein Materialverbrauch, sondern nur eine Energieverwandlung stattfindet und die aller Wahrscheinlichkeit nach mehr Licht und weniger Wärme aussenden würden, wie gewöhnliche Flammen.

Die Lichtintensität der Ströme würde natürlich erheblich verstärkt werden, wenn sie auf eine kleine Fläche zusammen gedrängt würden. Dies ist aus dem folgenden Versuche ersichtlich.

Ich befestige an dem einen Ende der Spule einen zu einem Kreise von etwa 30 cm Durchmesser gebogenen Draht *w* (Fig. 137) und an dem andern Ende eine kleine Messingkugel *s*, wobei die von dem Drahte umschlossene Fläche am besten gleich der Oberfläche der Kugel ist und der Mittelpunkt der letzteren in einer zur Ebene des Drahtkreises senkrechten und durch dessen Mittelpunkt gehenden Linie liegt. Wird die Entladung unter geeigneten Bedingungen bewirkt, so bildet sich ein hohler Lichtkegel und im Dunkeln sieht man die eine Hälfte der Messingkugel stark erleuchtet, wie in der Figur angedeutet ist.

Durch diesen oder einen andern Kunstgriff kann man die Lichtströme leicht auf eine kleine Fläche koncentriren und sehr starke Licht-

effekte erzeugen. Zwei dünne Drähte können auf solche Weise intensiv leuchtend werden.

Um die Lichtströme möglichst intensiv zu machen, müssen die Drähte sehr dünn und kurz sein; da aber in diesem Falle ihre Kapacität im Allgemeinen zu klein für die Spule, wenigstens für eine Spule, wie sie hier benutzt ist, sein würde, so muss man die Kapacität bis auf den erforderlichen Werth erhöhen, während gleichzeitig die Oberfläche der Drähte sehr klein bleibt. Dies kann auf mannigfache Weise geschehen.

Hier habe ich z. B. zwei Hartgummiplatten *RR* (Fig. 138), auf welche zwei sehr dünne Drähte *ww* derart aufgeleimt sind, dass sie einen Namenszug bilden. Für das Gelingen des Versuches ist es gleichgültig, ob die Drähte nackt oder mit bester Isolation bekleidet sind. Gut isolirte Drähte sind jedoch vorzuziehen. Auf der Rückseite jeder Platte befindet sich, angedeutet durch den schraffirten Theil, eine Stanniolbelegung *tt*. Die Platten sind in einer und derselben Ebene in hinreichendem Abstande von einander, um das Uebertreten eines Funkens von einem Drahte auf den andern zu verhindern, aufgestellt. Die beiden Stanniolbelegungen habe ich durch einen Leiter *C* verbunden und die beiden Drähte verbinde ich jetzt mit den Klemmen der Spule. Durch Aenderung der Stärke und der Frequenz der die primäre Wickelung durchfliessenden Ströme kann man nun leicht einen Punkt finden, bei welchem die Kapacität die für die vorliegenden Verhältnisse bestgeeignete ist, und die Drähte leuchten dann so stark, dass, wenn das Licht in dem Saale ausgelöscht wird, der von ihnen gebildete Name in hellleuchtenden Buchstaben sichtbar wird.

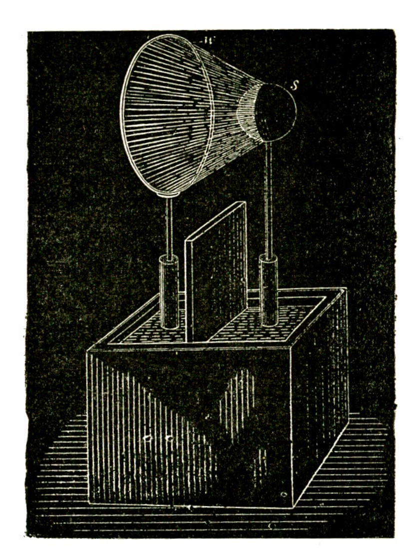


Fig. 137.

Es ist vielleicht besser, diesen Versuch mit einer von einer Wechselstrommaschine hoher Frequenz bethätigten Spule auszuführen, da dann infolge des harmonischen Steigens und Fallens der Spannung die Lichtströme sehr gleichmässig werden, wenn sie auch nicht in solcher Fülle auftreten, als wenn sie mit einer Spule wie diese hier erzeugt werden.

Dieser Versuch kann allerdings auch mit niedrigen Frequenzen ausgeführt werden, aber mit weit geringerem Erfolge.

Wenn zwei an den Klemmen der Spule befestigte Drähte in passendem Abstande von einander angebracht werden, so können die Strömungen zwischen ihnen so intensiv sein, dass sie eine zusammenhängende leuchtende Fläche bilden. Um diese Erscheinung zu zeigen, habe ich hier zwei Kreise C und c (Fig. 139) aus ziemlich starkem Draht, von denen der eine etwa 80 cm, der andere 30 cm Durchmesser hat. Ich befestige an jedem Ende der Spule einen der Kreise. Die sie haltenden Drähte sind so gebogen, dass die Kreise in die nämliche Ebene gestellt werden können. Wenn das Licht in dem Saale ausgelöscht und die Spule in Thätigkeit gesetzt wird, so sehen Sie den ganzen Raum zwischen den Drähten gleichmässig mit Lichtstrahlen, die eine leuchtende Scheibe bilden, erfüllt und die Intensität der Strahlen ist so gross, dass die Scheibe in beträchtlicher Entfernung gesehen werden kann. Der äussere Kreis könnte viel grösser sein als der hier benutzte; in der That habe ich bei dieser Spule viel grössere Kreise verwendet und war im Stande, eine stark leuchtende Scheibe von mehr als 1 Quadratmeter Fläche zu erzeugen, was bei dieser kleinen Spule ein bemerkenswerthes Resultat ist. Um jede Unsicherheit zu vermeiden, ist der Kreis kleiner genommen worden und die Fläche beträgt nur etwa 0,43 m².

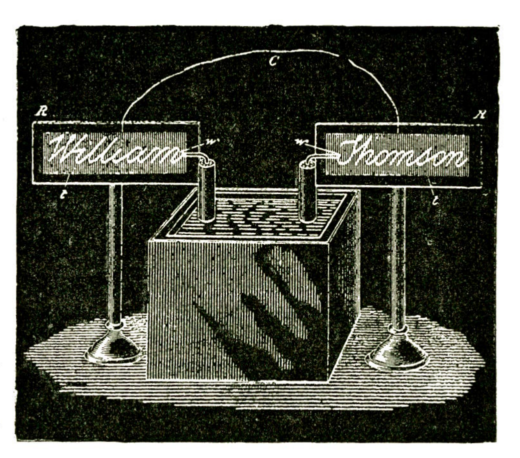


Fig. 138.

Die Frequenz der Schwingung und die Schnelligkeit, mit welcher die Funken zwischen den Knöpfen auf einander folgen, hat einen grossen Einfluss auf das Aussehen der Lichtströmungen. Wenn die Frequenz sehr niedrig ist, so giebt die Luft in fast gleicher Weise nach wie bei einer konstanten Spannungsdifferenz und die Strömungen bestehen aus deutlich zu unterscheidenden Fäden, im Allgemeinen untermischt mit kleinen Funken, die wahrscheinlich den successiven Entladungen zwischen den Knöpfen entsprechen. Ist aber die Frequenz ausserordentlich hoch, und erzeugt der Entladungsbogen einen sehr lauten und gleichmässigen Ton — was ein Zeichen dafür ist, dass eine Oscillation stattfindet und

dass die Funken mit grosser Schnelligkeit auf einander folgen —, so sind die gebildeten Lichtströmungen vollkommen homogen. Um dieses Resultat zu erreichen, müssen sehr kleine Spulen und Flaschen von geringer Kapacität benutzt werden. Ich nehme zwei Röhren aus dickem bömischen Glase von etwa 5 cm Durchmesser und 20 cm Länge. In jede der Röhren stecke ich eine primäre Spule aus sehr dickem Kupferdraht. Auf jede Röhre wickele ich eine sekundäre Spule aus viel dünnerem mit Guttapercha isolirten Draht. Die beiden sekundären Spulen schalte ich hinter einander, die beiden primären Spulen am besten neben einander. Die Röhren werden dann auf isolirenden Ständern in einem Abstande von etwa 10 bis 15 cm von einander in ein grosses Glasgefäss gesetzt und das Gefäss mit ausgekochtem Oel gefüllt, so dass das Oel etwa 25 mm über den Röhren steht. Die freien Enden der sekundären Spulen werden aus dem Oele herausgehoben und in einem Abstande von etwa 10 cm parallel neben einander gestellt. Die Enden, welche abgeschabt werden, sollten in das Oel getaucht werden. Zwei hinter einander geschaltete etwa $2\,{}^1/_4$ Liter grosse Leydener Flaschen können zur Entladung durch die primäre Spule hindurch benutzt werden. Sind die nothwendigen Adjustirungen in der Länge und dem Abstande der Drähte über dem Oele und in dem Entladungsbogen ausgeführt, so wird eine leuchtende Fläche zwischen den Drähten erzeugt, welche vollkommen eben und gleichförmig ist, ähnlich wie die gewöhnliche Entladung durch eine mässig evakuirte Röhre.

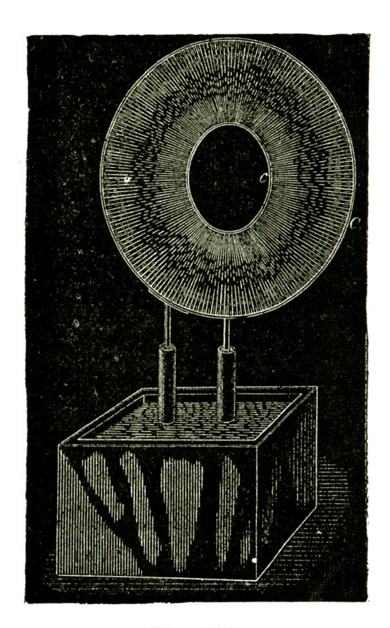


Fig. 139.

Ich habe mich absichtlich bei diesem scheinbar unbedeutenden Versuche länger aufgehalten. Bei Versuchen dieser Art kommt der Experimentator zu dem überraschenden Schlusse, dass, um gewöhnliche leuchtende Entladungen durch Gase hindurchzusenden, kein besonderer Grad der Evakuirung erforderlich ist, sondern dass das Gas unter gewöhnlichem, ja selbst unter grösserem Drucke stehen kann. Um dies zu erreichen, ist eine sehr hohe Frequenz wesentlich; ebenso ist eine

hohe Spannung erforderlich, indessen ist dies nur eine nebensächliche Bedingung. Diese Versuche lehren uns, dass wir bei dem Streben, neue Methoden der Lichterzeugung mittels der Bewegung der Atome oder Moleküle eines Gases zu entdecken, unsere Untersuchung nicht auf Vakuumröhren zu beschränken brauchen, sondern ganz ernsthaft die Möglichkeit ins Auge fassen können, dass wir Lichteffekte ohne Benutzung irgendeines Gefässes mit Luft unter gewöhnlichem Drucke erhalten werden.

Derartige Entladungen von sehr hoher Frequenz, welche die Luft bei gewöhnlichem Drucke zum Leuchten bringen, haben wir wahrscheinlich in der Natur oft zu beobachten Gelegenheit. Ich zweifle nicht, dass, wenn, wie viele glauben, die Nordlichter durch plötzliche kosmische Störungen erzeugt werden, wie z. B. durch Eruptionen an der Sonnenoberfläche, welche die elektrostatische Ladung der Erde in ausserordentlich rasche Schwingungen versetzen, die rothe Gluth, die wir beobachten, nicht auf die oberen dünneren Luftschichten beschränkt ist, sondern dass die Entladung auch wegen ihrer sehr hohen Frequenz die dichten Schichten der Atmosphäre in Form eines Glühens von der Art, wie wir es gewöhnlich in einer mässig evakuirten Röhre erzeugen, durchdringt. Wenn die Frequenz sehr niedrig wäre, oder noch mehr, wenn die Ladung überhaupt nicht vibrirte, so würde die dichte Luft wie bei einer Blitzentladung durchschlagen werden. Anzeichen eines solchen Durchschlagenwerdens der unteren dichten Luftschichten sind beim Auftreten dieser wunderbaren Erscheinung wiederholt beobachtet worden; wenn es aber eintritt, so kann dasselbe nur den fundamentalen Störungen, deren Zahl gering ist, zugeschrieben werden, da die von ihnen erzeugte Schwingung viel zu rasch sein würde, um ein disruptives Durchschlagen zu gestatten. Es sind die ursprünglichen und unregelmässigen Stromstösse, welche die Instrumente beeinflussen; die darüber gelagerten Schwingungen gehen wahrscheinlich unbemerkt vorüber.

Wird eine gewöhnliche Entladung niedriger Frequenz durch mässig verdünnte Luft hindurchgeschickt, so nimmt die Luft eine purpurrothe Farbe an. Wenn wir auf diese oder jene Weise die Intensität der molekularen oder atomischen Schwingungen verstärken, so nimmt das Gas allmählich eine weisse Farbe an. Eine ähnliche Aenderung findet unter gewöhnlichem Drucke bei elektrischen Stromstössen von sehr hoher Frequenz statt. Werden die Luftmoleküle in der Umgebung des Drahtes nur mässig bewegt, so ist das gebildete Lichtbüschel röthlich oder violett; wenn dagegen die Schwingung hinreichend intensiv wird, so

werden die Lichtströme weiss. Wir können dies auf verschiedene Weise ausführen. Bei dem vorher gezeigten Versuche mit den beiden im Saale ausgespannten Drähten habe ich das Resultat dadurch zu erreichen gesucht, dass ich sowohl die Frequenz wie die Spannung auf einen hohen Werth trieb; bei dem Versuche mit den dünnen auf eine Gummiplatte aufgeleimten Drähten habe ich die Wirkung auf eine sehr kleine Fläche koncentrirt oder, anders ausgedrückt, mit einer grossen elektrischen Dichte gearbeitet.

Eine sehr merkwürdige Form der Entladung beobachtet man mit einer solchen Spule, wenn die Frequenz und Spannung auf die äusserste Grenze getrieben werden. Bei der Ausführung des Versuches muss jeder Theil der Spule stark isolirt sein und nur zwei kleine Kugeln oder, noch besser, zwei scharfkantige Metallscheiben (*dd* Fig. 140) von nicht mehr als einigen Centimetern Durchmesser sollten der Luft ausgesetzt sein. Die hier benutzte Spule ist in Oel getaucht und die aus dem Oel hervorragenden Enden der sekundären Wickelung sind mit einer luftdichten sehr dicken Hartgummiumhüllung versehen. Alle etwa vorhandenen Risse müssen sorgfältig verstopft sein, so dass sich die Büschelentladung nirgends anders bilden kann, als an den kleinen der Luft ausgesetzten Kugeln oder Platten. In diesem Falle vermag die Spule, da keine grossen Kugeln oder andere Körper von grösserer Kapacität mit den Polen verbunden sind, ausserordentlich rasche Schwingungen auszuführen. Die Spannung kann dadurch, dass die Aenderungsgeschwindigkeit des primären Stromes, soweit als es der Experimentator für passend erachtet, gesteigert wird, erhöht werden. Bei einer von der hier benutzten nicht sehr verschiedenen Spule schaltet man am besten die beiden primären Wickelungen parallel; wenn jedoch die sekundäre Wickelung eine erheblich grössere Zahl von Windungen haben sollte, schaltet man besser die primären Wickelungen hinter einander, da sonst die Schwingungen für die sekundäre Wickelung zu schnell sein könnten. Unter solchen Umständen kommt es vor, dass aus den Rän-

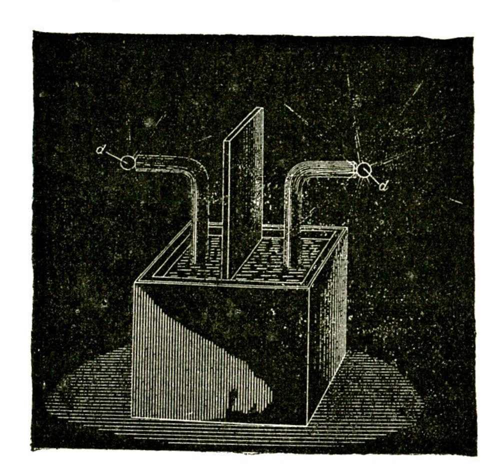


Fig. 140.

dern der Scheiben nebligweisse Ströme hervorbrechen und sich gespensterartig in den Raum verbreiten. Bei dieser Spule sind sie unter günstigen Verhältnissen etwa 25 bis 30 cm lang. Hält man die Hand gegen sie, so fühlt man nichts, und ein einen Schlag verursachender Funke springt von dem Pole erst über, nachdem die Hand viel näher gebracht ist. Wird die Oscillation des primären Stromes auf diese oder jene Weise intermittirend gemacht, so findet ein entsprechendes stossweises Ausströmen des Lichtes statt, und nun kann die Hand oder ein anderer leitender Gegenstand noch näher an den Pol herangebracht werden, ohne dass ein Funken überspringt.

Unter den vielen schönen Erscheinungen, die mit einer solchen Spule erzeugt werden können, habe ich hier nur diejenigen ausgewählt, die etwas Neues darzubieten scheinen und uns zu gewissen interessanten Folgerungen führen. Es wird nicht schwierig sein, mit Hülfe der Spule im Laboratorium noch viele andere Erscheinungen hervorzubringen, welche das Auge noch mehr als die hier vorgeführten reizen, aber nichts besonderes Neues darbieten.

Schon früher haben Experimentatoren das Spiel der Funken beschrieben, welches durch eine gewöhnliche grosse Induktionsspule hervorgebracht wird, wenn man die Pole durch eine isolirende Platte trennt. Erst kürzlich führte Siemens einige Versuche aus, bei denen hübsche Effekte erhalten wurden, die von vielen mit Interesse betrachtet wurden. Ohne Zweifel können grosse Spulen, auch wenn sie mit Strömen von geringen Frequenzen betrieben werden, prachtvolle Wirkungen hervorbringen. Aber auch die grösste jemals hergestellte Spule vermöchte bei weitem nicht das prächtige Schauspiel der Strömungen und Funken zu erzeugen, welches man mittels einer solchen disruptiven Entladungsspule bei geeigneter Regulirung erhalten kann. Um eine Vorstellung hiervon zu geben, sei bemerkt, dass eine Spule, wie die hier benutzte, leicht eine Platte von einem Meter Durchmesser vollständig mit Lichtströmen bedecken kann. Der beste Weg, solche Versuche auszuführen, ist der, dass man eine sehr dünne Gummi- oder Glasplatte nimmt und auf die eine Seite derselben einen schmalen Stanniolring von sehr grossem Durchmesser und auf die andere Seite ein kreisförmiges Blatt derart aufklebt, dass der Mittelpunkt des letzteren mit demjenigen des Ringes zusammenfällt. Die Flächen beider werden am besten gleich genommen, um die Spule möglichst im Gleichgewicht zu halten. Das Stanniolblatt und der Ring werden mit den Polen durch stark isolirte dünne Drähte verbunden. Durch Beobachtung der Wirkung der Kapacität kann man leicht eine Fläche von gleichförmigen

Strömen oder ein feines Netz dünner silberfarbiger Fäden oder eine Menge von prächtigen Funken, welche die Platte vollständig überdecken, erzeugen.

Seitdem ich in meinem Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers am Anfang des vergangenen Jahres den Gedanken der Umwandlung mittels der disruptiven Entladung ausgesprochen habe, hat sich ein erhebliches Interesse für denselben kundgegeben. Diese disruptive Entladung bietet uns ein Hülfsmittel, um mittels billiger Spulen, die aus gewöhnlichen Stromvertheilungssystemen betrieben werden, irgendwelche Spannungen zu erzeugen, und setzt uns ferner, was vielleicht werthvoller ist, in den Stand, Ströme von irgendwelcher Frequenz in Ströme von irgend einer andern niedrigeren oder höheren Frequenz zu verwandeln. Ihr Hauptwerth aber dürfte in der Hülfe zu finden sein, welche sie uns bei den Untersuchungen über die Phosporescenzerscheinungen leistet, die eine disruptive Entladungsspule in unzähligen Fällen zu erregen vermag, wo gewöhnliche und selbst die grössten Spulen durchaus keinen Erfolg haben würden.

Mit Rücksicht auf die wahrscheinlichen Verwendungen für viele praktische Zwecke und ihre mögliche Einführung in Laboratorien für wissenschaftliche Untersuchungen dürften wohl einige weitere Bemerkungen bezüglich der Herstellung einer solchen Spule nicht überflüssig sein.

Es ist natürlich absolut nothwendig, in einer solchen Spule mit bester Isolation versehene Drähte zu benutzen.

Gute Spulen können durch Verwendung von Drähten hergestellt werden, welche mit mehreren Lagen Baumwolle bedeckt sind. Die Spule wird längere Zeit in reinem Wachs gekocht und unter mässigem Drucke abgekühlt. Der Vortheil einer solchen Spule besteht darin, dass sie sich leicht hantiren lässt, doch vermag dieselbe wahrscheinlich nicht so zufriedenstellende Resultate zu geben wie eine in reines Oel getauchte Spule. Ausserdem scheint es, als ob das Vorhandensein einer grossen Wachsmasse die Spule ungünstig beeinflusst, während dies beim Oel nicht der Fall zu sein scheint. Vielleicht hat das letztere darin seinen Grund, dass die dielektrischen Verluste in der Flüssigkeit geringer sind.

Ich habe zuerst mit Seide oder Baumwolle umsponnene Drähte, welche in Oel eingetaucht wurden, probirt, doch wurde ich schliesslich dazu geführt, mit Guttapercha isolirte Drähte zu benutzen, die sich am besten bewährten. Guttapercha-Isolation vermehrt natürlich die Kapacität der Spule und dies ist besonders bei einer grossen Spule ein bedeutender Nachtheil, wenn ausserordentlich hohe Frequenzen gewünscht

werden; andererseits aber ist die Widerstandsfähigkeit der Guttapercha viel grösser als diejenige einer gleichdicken Oelschicht, und diesen Vortheil muss man sich um jeden Preis sichern. Nachdem die Spule einmal in Oel eingetaucht ist, sollte sie nie länger als einige Stunden aus demselben herausgenommen werden, da sonst die Guttapercha rissig wird und die Spule dann nicht mehr halb so viel werth ist wie zuvor. Wahrscheinlich wird Guttapercha langsam vom Oele angegriffen, indessen habe ich nach einer acht bis neun Monate langen Eintauchung der Spule keine schädlichen Wirkungen wahrgenommen.

Ich habe mir zwei Arten der im Handel gebräuchlichen Guttaperchadrähte verschafft; bei der einen haftet die Isolation dicht am Metall, bei der andern ist das nicht der Fall. Wenn nicht eine besondere Methode zur Austreibung der Luft angewendet wird, ist es viel sicherer, die erste Art zu benutzen. Ich wickele die Spule innerhalb eines Oelbehälters, so dass alle Zwischenräume mit Oel ausgefüllt sind. Zwischen den einzelnen Drahtlagen verwende ich in Oel gut ausgekochtes Leinwandzeug, dessen Dicke sich nach der Spannungsdifferenz zwischen den Windungen richtet. Zwischen den verschiedenen Oelsorten scheint kein grosser Unterschied zu bestehen. Ich benutze Paraffin- oder Leinöl.

Ein ausgezeichnetes und bei kleinen Spulen leicht ausführbares Verfahren zur vollkommeneren Ausschliessung der Luft ist folgendes. Man baue einen Kasten aus sehr dicken Brettern von hartem Holz, welche längere Zeit in kochendem Oel gelegen haben. Die Bretter müssen so verbunden werden, dass sie dem äusseren Luftdrucke sicher widerstehen. Nachdem die Spule in den Kasten gebracht und in demselben befestigt ist, wird der letztere mit einem starken Deckel verschlossen und mit dicht anschliessenden Metallblechen bekleidet, deren Verbindungen sorgfältig verlöthet werden. In den Deckel werden zwei kleine Löcher gebohrt, welche durch das Metallblech und das Holz hindurchgehen, und in diese Löcher werden zwei kleine Glasröhren luftdicht eingesetzt. Eine der Röhren wird mit einer Vakuumpumpe verbunden und die andere mit einem Gefässe, welches eine genügend grosse Menge ausgekochten Oeles enthält. Die letztere Röhe hat unten eine sehr kleine Oeffnung und ist mit einem Hahn versehen. Ist ein gutes Vakuum erreicht, so wird der Hahn geöffnet und das Oel langsam nachgefüllt. Verfährt man in solcher Weise, so ist es unmöglich, dass grössere Luftblasen, welche die Hauptgefahr bilden, zwischen den Windungen bleiben. Die Luft wird beinahe vollständig ausgeschlossen, viel besser als durch Auskochen, welches, wenn Guttaperchadrähte benutzt werden, überhaupt nicht zulässig ist.

Für die primären Wickelungen benutze ich gewöhnliche Leitungsdrähte mit dicker Baumwollenbekleidung. Seile von sehr dünnen isolirten Drähten, die passend zusammengeflochten sind, sind natürlich für die primären Wickelungen am geeignetsten, doch sind dieselben schwer erhältlich.

Bei einer Versuchsspule ist die Dicke der Drähte nicht von grosser Bedeutung. In der hier benutzten Spule besteht die primäre Wickelung aus 2 mm starkem und die sekundäre Wickelung aus 0,5 mm starkem Draht; indessen können die Querschnitte erheblich variirt werden. Letzteres würde nur verschiedene Regulirungen erforderlich machen, die angestrebten Resultate aber würden nicht wesentlich beeinflusst werden.

Ich habe mich bei den verschiedenen Arten von Büschelentladungen länger aufgehalten, weil wir beim Studium derselben nicht nur Erscheinungen beobachten, welche unser Auge ergötzen, sondern auch uns Stoff zum Nachdenken bieten und uns zu Folgerungen von praktischer Bedeutung führen. Bei der Verwendung von sehr hoch gespannten Wechselströmen kann man nicht Vorsichtsmassregeln genug treffen, um die Büschelentladung zu verhindern. In einer solche Ströme führenden Leitung, in einer Induktionsspule oder einem Transformator oder in einem Kondensator ist die Büschelentladung eine grosse Gefahr für die Isolation. Bei einem Kondensator insbesondere müssen die Gase sehr sorgfältig ausgetrieben werden, da bei ihm die geladenen Flächen dicht bei einander stehen und bei hoher Spannung die Isolation, wenn nur eine einzige einigermassen grosse Gasblase vorhanden ist, so sicher nachgeben wird, wie ein Gewicht, wenn es losgelassen wird, zur Erde fällt, während nach sorgfältigster Ausschliessung aller Gase der Kondensator einer viel höheren Potentialdifferenz widerstehen wird. Eine Leitung, welche Wechselströme von sehr hoher Spannung führt, kann durch ein blosses Luftloch oder einen kleinen Riss in der Isolation beschädigt werden, umsomehr, da ein Luftloch Gas unter niedrigem Drucke enthalten kann; und da es beinahe unmöglich erscheint, solche kleinen Unvollkommenheiten zu vermeiden, so bin ich zu der Ansicht gekommen, dass bei der elektrischen Energievertheilung mittels Strömen von sehr hoher Spannung in Zukunft flüssige Isolation Verwendung finden wird. Die Kosten sind allerdings ein grosses Hinderniss, wenn wir aber Oel als Isolator verwenden, wird die Vertheilung elektrischer Energie von etwa 100 000 Volt oder mehr, wenigstens bei höheren Frequenzen, so leicht, dass man sie kaum ein technisches Kunststück nennen kann. Mit Oelisolation und Wechselstrommotoren können Kraftübertragungen mit Sicherheit und auf industrieller Grundlage auf Entfernungen bis zu etwa anderthalb Tausend Kilometer ausgeführt werden.

Eine besondere Eigenschaft der Oele und der flüssigen Isolation überhaupt ist, dass sie, wenn sie rasch wechselnden elektrischen Spannungen ausgesetzt werden, jede etwa vorhandenen Gasblasen zerstreuen und durch ihre Masse hin vertheilen, im Allgemeinen lange bevor ein schädliches Durchschlagen stattfinden kann. Diese Eigenthümlichkeit kann man leicht bei einer gewöhnlichen Induktionsspule beobachten, wenn man die primäre Wickelung herausnimmt, das eine Ende der Röhre, auf welche die sekundäre Wickelung gewunden ist, zustöpselt und dieselbe mit einem durchsichtigen Isolator, wie z. B. Paraffinöl, anfüllt. In das Oel kann dann eine Primärspule geschoben werden, die einen um etwa 6 mm kleineren Durchmesser besitzt als das Innere der Röhre. Wird die Spule in Thätigkeit gesetzt, so sieht man, wenn man von oben durch das Oel blickt, viele leuchtende Punkte; das sind Luftblasen, welche beim Einschieben der Primärspule mitgerissen und infolge des heftigen Bombardements leuchtend wurden. Die okkludirte Luft erwärmt das Oel durch das Anprallen gegen dasselbe; das Oel beginnt zu cirkuliren und führt einen Theil der Luft mit sich fort, bis die Luftblasen zerstreut sind und die leuchtenden Punkte verschwinden. Auf diese Weise wird, falls nicht grosse Luftblasen okkludirt sind, derart dass eine Cirkulation unmöglich gemacht ist, ein schädliches Durchschlagen verhütet, und die einzige Wirkung ist eine mässige Erwärmung des Oeles. Würde an Stelle der Flüssigkeit eine feste Isolation, gleichviel von welcher Stärke, benutzt, so würde ein Durchschlagen und eine Beschädigung des Apparates unvermeidlich sein.

Die Ausschliessung gasiger Materie aus jedem Apparate, in welchem das Dielektrikum mehr oder weniger rasch sich ändernden elektrischen Kräften ausgesetzt ist, ist jedoch nicht nur deswegen wünschenswerth, um eine mögliche Beschädigung des Apparates zu verhüten, sondern auch aus ökonomischen Gründen. In einem Kondensator ist z. B., so lange nur ein festes oder nur ein flüssiges Dielektrikum benutzt wird, der Verlust gering; wenn aber ein Gas unter gewöhnlichem oder geringem Druck vorhanden ist, so kann der Verlust sehr gross sein. Von welcher Art aber auch die in dem Dielektrikum wirkende Kraft sein möge, soviel ist klar, dass die durch die Kraft hervorgebrachte molekulare Verschiebung in einem festen oder flüssigen Dielektrikum nur klein ist; daher ist das Produkt aus der Kraft und der Verschiebung unbedeutend, wofern nicht die Kraft sehr gross ist. In einem Gase jedoch ist die Verschiebung und daher dieses Produkt erheblich; die Moleküle können sich frei bewegen, sie erlangen hohe Geschwindigkeiten und die Energie ihres Zusammenprallens wird in Wärme oder in anderer Weise ver-

geudet. Wird das Gas stark komprimirt, so wird die von der Kraft hervorgebrachte Verschiebung kleiner und die Verluste werden geringer.

Bei den meisten der nachfolgenden Versuche benutze ich am liebsten, hauptsächlich wegen der regelmässigen und zuverlässigen Wirkung, die früher von mir erwähnte Wechselstrommaschine. Es ist dies eine der verschiedenen Maschinen, die ich zum Zwecke dieser Untersuchungen gebaut habe. Dieselbe hat 384 Polvorsprünge und vermag Ströme von etwa 10000 Wechseln per Sekunde zu geben. Diese Maschine ist in meinem ersten bereits erwähnten Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers vom 20. Mai 1891 abgebildet und beschrieben worden. Eine ausführlichere Beschreibung, durch welche jeder Ingenieur in den Stand gesetzt wird, eine ähnliche Maschine zu bauen, findet sich in mehreren elektrotechnischen Journalen aus jener Zeit.

Die von der Maschine betriebenen Induktionsspulen sind ziemlich klein und enthalten in der sekundären Wickelung 5000 bis 15000 Windungen. Dieselben sind in ausgekochtes Leinöl getaucht, welches in hölzernen mit Zinkblech bekleideten Kästen enthalten ist.

Ich habe es vortheilhaft gefunden, die gewöhnliche Lage der Drähte umzukehren und in diesen Spulen die primären Windungen oben aufzuwickeln; hierdurch wird es möglich, eine viel grössere Primärspule zu benutzen, wodurch natürlich die Gefahr einer übermässigen Erwärmung verringert und die Leistung der Spule vergrössert wird. Ich mache die primäre Spule an jeder Seite mindestens einen Centimeter kürzer als die sekundäre Spule, um das Durchschlagen an den Enden zu verhindern, welches sicher eintreten würde, wenn nicht die Isolation über der sekundären Spule sehr dick wäre, was natürlich unvortheilhaft sein würde.

Wird die primäre Spule beweglich gemacht, was für einige Versuche nothwendig und für den Zweck der Regulirung oft bequem ist, so umhülle ich die sekundäre Spule mit Wachs und drehe dies in einer Drehbank ab, bis der Durchmesser etwas kleiner ist als der innere Durchmesser der primären Spule. Die letztere versehe ich mit einem aus dem Oele hervorragenden Handgriff, welcher dazu dient, die Lage der primären Spule längs der sekundären zu verschieben.

Bezüglich der allgemeinen Hantirung der Induktionsspulen will ich nun einige Bemerkungen über gewisse Punkte machen, die bei früheren Versuchen mit solchen Spulen nicht vollkommen gewürdigt worden sind und auch jetzt noch oft übersehen werden.

Die sekundäre Wickelung der Spule besitzt gewöhnlich eine so hohe Selbstinduktion, dass der den Draht durchfliessende Strom unmerk-

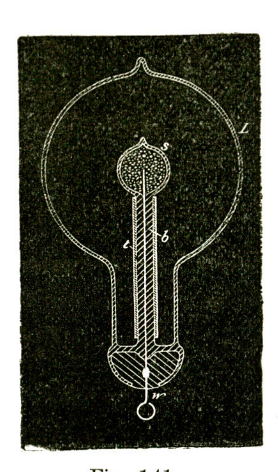
lich ist und selbst dann so sein kann, wenn die Enden durch einen Leiter von geringem Widerstande verbunden werden. Wird zu den Enden eine Kapacität hinzugefügt, so wird der Selbstinduktion entgegengewirkt, und es fliesst ein stärkerer Strom durch die sekundäre Spule, auch wenn ihre Enden von einander isolirt sind. Für einen, der mit den Eigenschaften der Wechselströme nicht vertraut ist, ist dies eine höchst seltsame Erscheinung. Diese Eigenthümlichkeit wurde durch den Versuch erläutert, den ich im Anfange mit den an den Polen befestigten Platten aus Drahtgaze und der Gummiplatte ausführte. Wenn die Platten dicht an einander gesetzt waren, und ein kleiner Bogen zwischen ihnen sich bildete, so verhinderte der Bogen den Durchgang eines starken Stromes durch die sekundäre Spule, weil derselbe die Kapacität an den Polen aufhob; wurde aber die Gummiplatte dazwischen geschoben, so kompensirte die Kapacität des so gebildeten Kondensators die Selbstinduktion der sekundären Spule, es ging dann ein stärkerer Strom durch dieselbe hindurch, die Spule leistete mehr Arbeit und die Entladung war bei Weitem kräftiger.

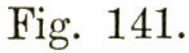
Beim Betriebe der Induktionsspule hat man also vor allen Dingen mit der sekundären Spule eine Kapacität zu kombiniren, um die Selbstinduktion zu überwinden. Sind die Frequenzen und Spannungen sehr hoch, so müssen Gase von den geladenen Flächen sehr sorgfältig fern gehalten werden. Werden Leydener Flaschen benutzt, so müssen sie am besten in Oel gesetzt werden, da sonst eine beträchtliche Energiezerstreuung stattfinden kann, wenn die Flaschen auf hohes Potential geladen werden. Bei Verwendung hoher Frequenz ist es von gleicher Wichtigkeit, mit der primären Spule einen Kondensator zu verbinden. Man kann einen Kondensator benutzen, der mit den Enden der primären Wickelung oder mit den Klemmen der Wechselstrommaschine verbunden ist, indessen ist das letztere nicht zu empfehlen, da die Maschine beschädigt werden könnte. Am besten benutzt man zweifellos den Kondensator in Hintereinanderschaltung mit der primären Wickelung und der Wechselstrommaschine und regulirt die Kapacität so, dass die Selbstinduktion der beiden letzteren aufgehoben wird. Der Kondensator sollte in sehr geringen Abstufungen regulirbar sein und für eine feinere Regulirung kann zweckmässig ein kleiner Oelkondensator mit beweglichen Platten benutzt werden.

Im Zusammenhange hiermit möchte ich Ihnen eine Erscheinung vorführen, die ich vor einiger Zeit beobachtet habe, und die für den rein wissenschaftlichen Forscher vielleicht interessanter ist als irgend eines der anderen Resultate, die ich Ihnen heute Abend darzulegen die Ehre habe.

Dieselbe kann ganz passend unter die Büschelerscheinungen eingeordnet werden; in der That ist es ein Lichtbüschel, welches sich an oder in der Nähe einer einzigen Elektrode in einem hohen Vakuum bildet.

In Glasbirnen, die mit einer leitenden Elektrode, selbst aus Aluminium, versehen sind, hat das Büschel nur eine ephemere Existenz und kann leider selbst in einer von jeder leitenden Elektrode freien Birne in seinem sensitivsten Zustande nicht lange aufrecht erhalten werden. Beim Studium der Erscheinung sollte jedenfalls eine Glasbirne ohne jeden Zuführungsdraht benutzt werden. Ich fand es am besten, Birnen von solcher Konstruktion zu benutzen, wie sie in den Fig. 141 und 142 dargestellt sind.




Fig. 141.

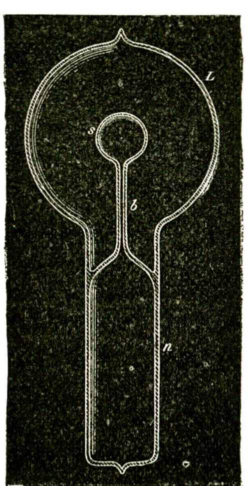


Fig. 142.

In Fig. 141 besteht die Birne aus einer Glühlampenkugel L mit einer an den Hals angeschmolzenen Barometerröhre b, deren Ende zu einer kleinen Kugel s ausgeblasen ist. Diese Kugel soll so nahe wie möglich in dem Mittelpunkte der grossen Kugel sich befinden. Vor der Zuschmelzung kann eine dünne Röhre t aus Aluminiumblech in die Barometerröhre hineingeschoben werden, doch ist die Anwendung derselben nicht von wesentlicher Bedeutung.

Die kleine Hohlkugel s ist mit irgend einem leitenden Pulver gefüllt und in den Hals ist ein Draht w eingekittet behufs Verbindung des leitenden Pulvers mit dem Stromerzeuger.

Die in Fig. 142 ersichtliche Konstruktion wurde gewählt, um von dem Büschel jeden leitenden Körper, der es etwa beeinflussen könnte, fernzuhalten. Die Glasbirne besteht in diesem Falle aus einer Lampen-

kugel L mit einem Halse n, der mit einer Röhre b und einer an der letzteren angeschmolzenen Kugel s versehen ist, derart dass, wie aus der Figur ersichtlich ist, zwei vollkommen unabhängige Abtheilungen gebildet werden. Beim Gebrauche dieser Birne wird der Hals n mit einer Stanniolbelegung versehen, welche mit dem Stromerzeuger verbunden wird und inducirend auf das in dem Halse eingeschlossene mässig verdünnte und daher gut leitende Gas wirkt. Von hier geht der Strom durch die Röhre b in die kleine Kugel s und wirkt durch Induktion auf das in der Birne L enthaltene Gas.

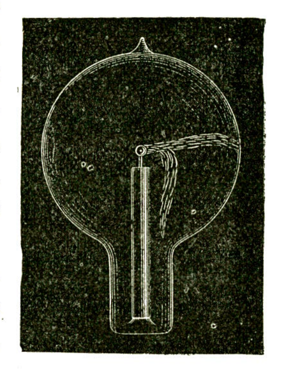


Fig. 143.

Es ist vortheilhaft, die Röhre t sehr dick und die Durchbohrung derselben sehr dünn zu machen und die Kugel s derart auszublasen, dass sie eine sehr dünne Wandung erhält. Von der grössten Wichtigkeit ist es, dass die Kugel s im Mittelpunkt der Kugel L sich befindet.

Die Fig 143, 144 und 145 stellen verschiedene Formen oder Zustände des Büschels dar. Fig. 143 zeigt das Büschel so, wie es zuerst in einer mit einer leitenden Elektrode versehenen Birne aussieht. Da aber dasselbe in einer solchen Birne sehr bald — oft nach wenigen Minuten — verschwindet, so will ich mich auf die Beschreibung der Erscheinung beschränken, wie sie in einer Birne ohne leitende Elektrode auftritt. Man beobachtet dieselbe unter folgenden Bedingungen:

Wird die Kugel L (Fig. 141 und 142) sehr stark evakuirt, so wird die Birne im Allgemeinen nicht erregt, nachdem man den Draht w (Fig. 141) oder die Stanniolbelegung der Birne (Fig. 142) mit dem Pol der Induktionsspule verbunden hat. Um dieselbe zu erregen, genügt es in der Regel, die Kugel L in die Hand zu nehmen. Alsdann breitet sich zuerst eine intensive Phosphorescenz über die Kugel aus, die aber bald einem weissen nebligen Lichte Platz macht. Kurz nachher kann man wahrnehmen, dass das Licht ungleichmässig in der Kugel vertheilt ist, und nachdem der Strom eine Zeit lang hindurch gegangen ist, sieht die Birne wie in Fig. 144 aus. Aus diesem Stadium geht die Erscheinung allmählich, nach einigen Minuten, Stunden, Tagen oder Wochen, je nachdem wie die Birne gearbeitet ist, in die in Fig. 145 dargestellte über. Eine Erwärmung der Birne oder Erhöhung der Spannung beschleunigt den Uebergang.

Wenn das Büschel die in Fig. 145 angedeutete Form annimmt, kann dasselbe zu einem ausserordentlich hohen Grade von Empfindlich-

keit gegen elektrostatische und magnetische Einflüsse gebracht werden. Hängt die Birne an einem Drahte herab und entfernt man alle Gegenstände von derselben, so veranlasst die Annäherung des Beobachters bis auf einige Schritte von der Birne, dass das Büschel nach der entgegengesetzten Seite herumfliegt, und wenn der Beobachter um die Birne herumgeht, so hält sich das Büschel stets auf der ihm abgewandten Seite. Lange bevor das Büschel diesen Grad der Empfindlichkeit erreicht, beginnt es, sich um die Elektrode herumzudrehen. Besonders

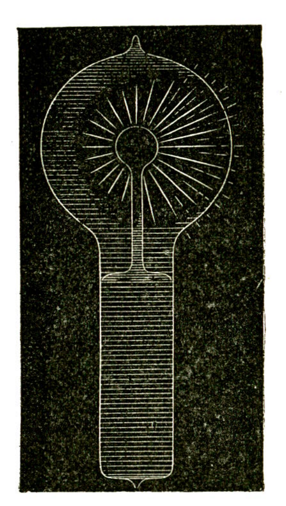


Fig. 144.

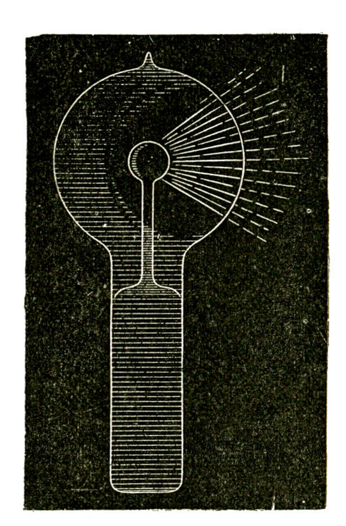


Fig. 145.

im Anfange dieser rotirenden Bewegung, aber auch vorher schon, wird es von einem Magneten stark beeinflusst und in einem gewissen Stadium ist es gegen magnetische Einflüsse in erstaunlichem Grade empfänglich. Ein kleiner permanenter Magnet mit einem Polabstand von nicht mehr als 2 cm beeinflusst das Büschel merklich auf eine Entfernung von 2 m und verlangsamt oder beschleunigt die Rotation desselben, je nach der Lage, in der er gegenüber dem Büschel gehalten wird. Ich glaube beobachtet zu haben, dass dasselbe im Stadium grösster Empfindlichkeit gegenüber magnetischen Einflüssen nicht zugleich am empfindlichsten gegenüber elektrostatischen Einflüssen ist. Meine Erklärung hierfür ist, dass die elektrostatische Anziehung zwischen dem Büschel und dem Glase der Birne, welche die Rotation verzögert, bei Verstärkung der Stromintensität viel rascher wächst, als der magnetische Einfluss.

Wenn die Birne mit der Kugel L nach unten hängt, so erfolgt die Rotation stets in der Richtung des Uhrzeigers. Auf der südlichen Halb-

kugel würde die Rotation in der entgegengesetzten Richtung stattfinden und am Aequator würde das Büschel überhaupt nicht rotiren. Die Rotation kann durch einen in eine gewisse Entfernung gehaltenen Magnet umgekehrt werden. Das Büschel rotirt anscheinend am besten, wenn es zu den Kraftlinien der Erde senkrecht steht. Dasselbe rotirt wahrscheinlich bei seiner grössten Geschwindigkeit synchron mit den Wechseln, etwa 10 000 mal in der Sekunde. Die Rotation kann durch Annäherung oder Entfernung des Beobachters oder irgend eines leitenden Körpers verlangsamt oder beschleunigt, aber nicht dadurch umgekehrt werden, dass man die Birne in irgend welche Lage bringt. Befindet sich das Büschel im Zustande seiner grössten Empfindlichkeit und wird die Spannung oder die Frequenz variirt, so wird die Empfindlichkeit rasch vermindert. Eine nur geringe Aenderung einer dieser beiden Grössen bringt die Rotation im Allgemeinen zum Stillstand. Auch durch Temperaturänderungen wird die Empfindlichkeit beeinflusst. Um eine grosse Empfindlichkeit zu erhalten, muss die kleine Kugel s sich in dem Mittelpunkte der Kugel L befinden, da sonst die elektrostatische Wirkung des Glases der letzteren die Rotation zum Stillstand zu bringen sucht. Die Kugel s muss klein und von gleichförmiger Dicke sein; jede Unsymmetrie bewirkt natürlich eine Verringerung der Empfindlichkeit.

Der Umstand, dass das Büschel in einem permanenten magnetischen Felde in einer bestimmten Richtung rotirt, scheint zu beweisen, dass bei Wechselströmen von sehr hoher Frequenz die positiven und negativen Impulse nicht gleich sind, sondern dass der eine den andern stets überwiegt.

Natürlich könnte diese Rotation in einer Richtung von der Wirkung der beiden Elemente desselben Stromes auf einander oder von der Wirkung des von dem einen der Elemente hervorgerufenen Feldes auf das andere, wie bei einem Hauptschlussmotor, herrühren, ohne dass nothwendig ein Impuls stärker wäre als der andere. Der Umstand, dass das Büschel sich, soweit ich beobachten konnte, in jeder Lage dreht, würde für diese Ansicht sprechen. In diesem Falle würde es an jedem Punkte der Erdoberfläche rotiren. Andererseits aber ist es schwer erklärlich, warum ein permanenter Magnet die Rotation umkehren sollte, und man muss daher das Ueberwiegen der Impulse der einen Art annehmen.

Was die Ursachen der Bildung des Büschels oder Lichtstromes anlangt, so bin ich der Ansicht, dass dieselbe von der elektrostatischen Wirkung der äusseren Kugel und der Unsymmetrie der Theile herrührt. Wären die kleine Kugel s und die Kugel L vollkommen koncentrische

Kugeln und das Glas überall von derselben Dicke und Beschaffenheit, so würde sich meiner Ansicht nach das Büschel nicht bilden, da die Tendenz des Stromüberganges auf allen Seiten gleich ist. Dass die Bildung des Lichtbüschels von einer Unregelmässigkeit herrührt, geht aus der Thatsache hervor, dass dasselbe in einer Lage zu bleiben sucht und die Rotation im Allgemeinen nur auftritt, wenn es durch elektrostatischen oder magnetischen Einfluss aus dieser Lage gebracht wird. Wenn das Büschel im ausserordentlich empfindlichen Zustande in einer Lage bleibt, so kann man sehr merkwürdige Versuche mit ihm anstellen. Beispielsweise kann der Experimentator nach Annahme einer passenden Stellung die Hand in eine erhebliche Entfernung von der Birne halten und durch blosse Anspannung der Armmuskeln die Lage des Büschels verändern. Wenn dasselbe langsam zu rotiren beginnt und die Hände in passende Entfernung gehalten werden, so kann man nicht die geringste Bewegung machen, ohne eine sichtbare Wirkung auf das Büschel auszuüben. Eine mit dem andern Pole der Spule verbundene Metallplatte beeinflusst dasselbe auf grosse Entfernung und verlangsamt die Rotation oft bis auf eine Drehung in der Sekunde.

Nach meiner festen Ueberzeugung würde sich ein solches Büschel, wenn wir es in geeigneter Weise hervorzubringen verstehen, als ein werthvolles Hülfsmittel bei der Untersuchung der Natur der in einem elektrostatischen oder magnetischen Felde wirkenden Kräfte erweisen. Wenn irgend eine messbare Bewegung im Raume vorgeht, würde man sie mit einem solchen Büschel nachweisen können. Es ist gewissermassen ein Lichtstrahl ohne Reibung, ohne Trägheit.

Ich glaube, dass dasselbe in der Telegraphie praktische Anwendung finden könnte. Mittels eines solchen Büschels würde es möglich sein, Depeschen z. B. über den Ocean zu senden mit beliebiger Geschwindigkeit, da seine Empfindlichkeit so gross sein kann, dass es durch die leisesten Aenderungen beeinflusst wird. Wenn es möglich wäre, das Lichtbüschel intensiver und schmaler zu machen, so würden seine Ablenkungen leicht photographirt werden können.

Ich fand grosses Interesse daran, zu untersuchen, ob eine Rotation des Büschels selbst stattfindet, oder ob einfach eine Art Zug um die Birne herumgeht. Zu diesem Zwecke brachte ich eine leichte Glimmermühle so an, dass ihre Flügel in der Bahn des Büschels sich befanden. Wenn das Büschel selbst rotirte, so müsste die Mühle sich herumdrehen. Ich vermochte keine entschiedene Rotation der Flügel hervorzubringen, obwohl ich den Versuch wiederholt probirte; da jedoch die Mühle einen merklichen Einfluss auf das Büschel ausübte und die sichtbare Rotation

des letzteren in diesem Falle nie ganz befriedigend war, so dürfte der Versuch nicht als entscheidend zu betrachten sein.

Mit der disruptiven Entladungsspule habe ich die Erscheinung nicht hervorbringen können, obwohl dies bei jeder andern dieser Erscheinungen sehr gut ging, bei vielen in der That weit besser als mit Spulen, die von einer Wechselstrommaschine betrieben wurden.

Es wäre möglich, das Büschel durch Stromimpulse von einer Richtung oder auch durch eine konstante Spannung zu erzeugen, in welchem Falle dasselbe noch empfindlicher gegen magnetische Einflüsse sein würde.

Beim Betriebe einer Induktionsspule mit rasch wechselnden Strömen beobachtet man, zum ersten Male mit einiger Ueberraschung, die grosse Wichtigkeit der Beziehung der Kapacität, Selbstinduktion und Frequenz bezüglich der allgemeinen Resultate. Die Wirkungen der Kapacität sind die auffälligsten, da bei diesen Versuchen, weil die Selbstinduktion und Frequenz beide hoch sind, die kritische Kapacität sehr gering ist und nur wenig variirt zu werden braucht, um sehr erhebliche Aenderungen hervorzubringen. Der Experimentator braucht nur seinen Körper mit den Enden der sekundären Wickelung der Spule in Berührung zu bringen oder mit einem oder beiden Enden isolirte Körper von sehr kleinem Umfange, wie z. B. Lampenbirnen, zu verbinden, um ein beträchtliches Steigen oder Fallen der Spannung hervorzubringen und den Fluss des Stromes durch die primäre Wickelung bedeutend zu beeinträchtigen. Bei dem früher gezeigten Versuche, bei welchem an einem mit dem einen Pole verbundenen Drahte ein Büschel auftrat und der Draht in Schwingungen gerieth, wenn der Experimentator seinen isolirten Körper mit dem andern Pole der Spule in Berührung brachte, war das plötzliche Steigen der Spannung deutlich erkennbar.

Ich kann Ihnen das Verhalten der Spule noch auf eine andere Weise demonstriren, welche eine Eigenthümlichkeit von einigem Interesse zeigt. Ich habe hier eine kleine Lichtmühle aus Aluminiumblech, die an einer Nadel befestigt und derart angeordnet ist, dass sie in einem an den einen Pol der Spule angeschraubten Metallstück frei rotiren kann. Wird die Spule in Thätigkeit gesetzt, so werden die Luftmoleküle rythmisch angezogen und abgestossen. Sobald die Kraft, mit welcher sie abgestossen werden, grösser ist als die, mit welcher sie angezogen werden, so wird auf die Flächen der Mühle eine Abstossung ausgeübt. Wäre die Mühle einfach aus Metallblech hergestellt, so würde die Abstossung auf die entgegengesetzten Seiten gleich sein und keine Wirkung hervorbringen. Wenn aber eine der entgegengesetzten Flächen geschützt oder,

allgemein gesprochen, das Bombardement auf dieser Seite in irgend einer Weise abgeschwächt wird, so bleibt die auf die andere Seite ausgeübte Abstossung übrig und die Mühle wird in Rotation versetzt. Der Schirm für die eine der entgegengesetzten Seiten der Mühle wird am besten in der Weise hergestellt, dass man an derselben isolirte leitende Belegungen anbringt oder, wenn die Mühle die Form einer gewöhnlichen Propellerschraube besitzt, auf der einen Seite und dicht an derselben eine isolirte Metallplatte befestigt. Der Schirm kann indessen auch weggelassen und auf einer der Seiten der Mühle einfach eine dicke Schicht isolirenden Materials aufgetragen werden.

Um das Verhalten der Spule zu zeigen, möge die Mühle auf den einen Pol gesetzt werden; sie wird dann leicht rotiren, wenn die Spule mit Strömen von sehr hoher Frequenz betrieben wird. Bei konstanter Spannung und auch bei Wechselströmen von sehr niedriger Frequenz würde sie sich natürlich wegen des sehr langsamen Luftwechsels und daher schwächeren Bombardements nicht drehen; im letzteren Falle jedoch könnte sie sich drehen, wenn die Spannung ausserordentlich hoch wäre. Bei einem aus Nadeln hergestellten Rade gilt gerade die entgegengesetzte Regel; dasselbe rotirt am besten bei einer konstanten Spannung und die Kraft ist um so geringer, je höher die Frequenz ist. Nun kann man sehr leicht die Bedingungen derart reguliren, dass die Spannung normal nicht ausreicht, um die Mühle zu drehen, dass die letztere sich aber dreht, sobald durch Verbindung des andern Pols der Spule mit einem isolirten Körper die Spannung auf einen viel grösseren Werth ansteigt; und ebenso ist es möglich, die Rotation dadurch zum Stillstand zu bringen, dass man mit dem Pole einen Körper von verschiedener Grösse verbindet, durch welchen die Spannung verringert wird.

Anstatt bei diesem Versuche die Mühle zu benutzen, kann man mit gleichem Effekte auch das „elektrische“ Radiometer anwenden. In diesem Falle findet man aber, dass die Flügel nur bei hoher Luftverdünnung oder bei gewöhnlichem Drucke rotiren; sie rotiren dagegen nicht bei geringem Drucke, wo Luft ein guter Leiter ist. Diese merkwürdige Beobachtung wurde von Professor Crookes und mir gemeinschaftlich gemacht. Ich schreibe das Resultat der hohen Leitungsfähigkeit der Luft zu, deren Moleküle dann nicht als unabhängige Träger elektrischer Entladungen, sondern zusammen wie ein einziger leitender Körper wirken. In solchem Falle muss natürlich die Abstossung der Moleküle von den Flügeln, wenn eine solche überhaupt vorhanden ist, sehr klein sein. Möglicherweise hat jedoch das Resultat zum Theil darin seinen Grund, dass der grössere Theil der Entladung von den Zuführungsdrähten

aus durch das gut leitende Gas hindurch übergeht, anstatt von den leitenden Flügeln auszugehen.

Bei der Ausführung des vorigen Versuches mit dem elektrischen Radiometer darf die Spannung eine gewisse Grenze nicht überschreiten, da sonst die elektrostatische Anziehung zwischen den Flügeln und dem Glase der Birne so gross sein kann, dass eine Rotation nicht möglich ist.

Eine sehr merkwürdige Eigenthümlichkeit der Wechselströme von hoher Frequenz und hoher Spannung besteht darin, dass wir mit Hülfe derselben im Stande sind, viele Versuche mit Benutzung nur eines Drahtes auszuführen. Diese Eigenthümlichkeit ist in vielen Beziehungen von grossem Interesse.

Bei einer von mir vor einigen Jahren erfundenen Type von Wechselstrommotoren erzeugte ich die Drehung in der Weise, dass ich mit Hülfe eines einzigen durch einen Motorstromkreis gesandten Wechselstromes in dem Eisenkörper oder in den andern Stromkreisen des Motors sekundäre Ströme inducirte, welche zusammen mit dem primären oder inducirenden Strome ein sich bewegendes Kraftfeld erzeugten. Eine einfache aber rohe Form eines solchen Motors erhält man, wenn man auf einen Eisenkern eine primäre Wickelung aufwickelt und dicht über derselben eine sekundäre Wickelung, die Enden der letzteren verbindet und eine frei bewegliche Metallscheibe in den Wirkungsbereich des durch beide erzeugten Feldes setzt. Die Gründe, warum man einen Eisenkern anwendet, liegen auf der Hand, derselbe ist jedoch durchaus nicht wesentlich. Um den Motor zu verbessern, wird der Eisenkern derart angeordnet, dass er den Anker umschliesst. Zur weiteren Vervollkommnung lässt man die sekundäre Wickelung zum Theil über die primäre übergreifen, so dass sie sich einer starken induktiven Wirkung der letzteren nicht entziehen kann, trotzdem sie deren Kraftlinien zurückzudrängen vermag. Der passende Phasenunterschied zwischen dem primären und sekundären Strome kann ferner durch Einschaltung eines Kondensators, einer Selbstinduktion, eines Widerstandes oder durch äquivalente Wickelungen erhalten werden.

Ich hatte jedoch die Entdeckung gemacht, dass Rotation mittels einer einzigen Spule und eines Kernes hervorgebracht werden kann. Meine Erklärung der Erscheinung und der leitende Gedanke bei der Ausführung des Versuches war, dass in der Magnetisirung des Kernes eine zeitliche Verspätung stattfinden müsse. Ich gedenke noch der Freude, die ich empfand, als ich in den mir später in die Hände kommenden Schriften von Professor Ayrton den Gedanken der Verspätung der Magnetisirung entwickelt fand. Ob eine wirkliche Verspätung stattfindet, oder ob die Verzögerung von den in kleinen Bahnen cirkulirenden Wirbel-

strömen herrührt, bleibt eine offene Frage, Thatsache aber ist, dass eine auf einen Eisenkern gewickelte und von einem Wechselstrom durchflossene Spule ein sich bewegendes Kraftfeld erzeugt, welches einen Anker in Drehung zu setzen vermag. Es ist in Bezug auf den historischen Versuch von Arago von einigem Interesse zu erwähnen, dass ich bei Phasenmotoren eine Drehung in entgegengesetzter Richtung zu dem sich bewegenden Felde hervorgebracht habe, was bedeutet, dass bei jenem Versuch der Magnet nicht zu rotiren braucht oder sogar in der zur Bewegungsrichtung der Scheibe entgegengesetzten Richtung rotiren kann. Hier ist also ein Motor (diagrammatisch dargestellt in Fig. 146), der aus einer Spule und einem Eisenkern und einer in der Nähe des letzteren frei beweglichen Kupferscheibe besteht.

Diese Motortype habe ich aus einem sogleich zu erklärenden Grunde gewählt, um eine neue interessante Eigenthümlichkeit zu demonstriren. Werden die Enden der Spule mit den Klemmen einer Wechselstrommaschine verbunden, so geräth die Scheibe in Rotatation. Doch ist dieser, jetzt wohlbekannte, Versuch nicht der, den ich Ihnen zeigen will; was ich Ihnen vielmehr zu zeigen wünsche, ist, dass dieser Motor auch rotirt, während zwischen ihm und dem Generator nur eine einzige Verbindung besteht, d. h. während nur die eine Klemme des Motors mit der einen Klemme des Generators — in diesem Falle der sekundären Wickelung einer Hochspannungsinduktionsspule — verbunden ist, die andern Klemmen des Motors und Generators dagegen im Raume isolirt sind. Um eine Drehung hervorzubringen, ist es im Allgemeinen (aber nicht durchaus) erforderlich, das freie Ende der Motorwickelung mit einem isolirten Körper von gewisser Grösse zu verbinden. Der Körper des Experimentators ist mehr als ausreichend. Wenn derselbe die freie Klemme mit einem in der Hand gehaltenen Gegenstande berührt, so geht ein Strom durch die Spule und die Kupferscheibe wird in Rotation versetzt. Wenn eine evakuirte Röhre mit der Spule hinter einander geschaltet wird, so leuchtet die Röhre hell auf, ein Beweis, dass ein starker Strom durch sie hindurchgeht. An Stelle des Körpers des Experimentators kann ein an einem Seile aufgehängtes kleines Metallblech mit gleichem Erfolge verwendet werden. In diesem Falle wirkt die Platte wie ein mit der Spule in Serie geschalteter Kondensator. Dieselbe wirkt der Selbstinduktion der Spule entgegen und gestattet den Durchgang eines starken Stromes. Je grösser in einer solchen Kombination die Selbstinduktion der Spule ist, um so kleiner braucht die Platte zu sein, und dies will sagen, dass eine niedrigere Frequenz oder eventuell eine geringere Spannung zum Betriebe des Motors erforderlich

ist. Eine einzige auf einen Kern gewickelte Spule besitzt eine hohe Selbstinduktion; aus diesem Grunde hauptsächlich wurde diese Motortype zur Ausführung des Versuches gewählt. Wäre eine sekundäre geschlossene Spule auf den Kern gewickelt, so würde dieselbe die Selbstinduktion zu verringern suchen und es würde dann eine viel höhere Frequenz und Spannung angewendet werden müssen. Keins von beiden würde zweckmässig sein, da eine höhere Spannung die Isolation der kleinen primären Spule gefährden und eine höhere Frequenz ein wesentlich geringeres Drehmoment zur Folge haben würde.

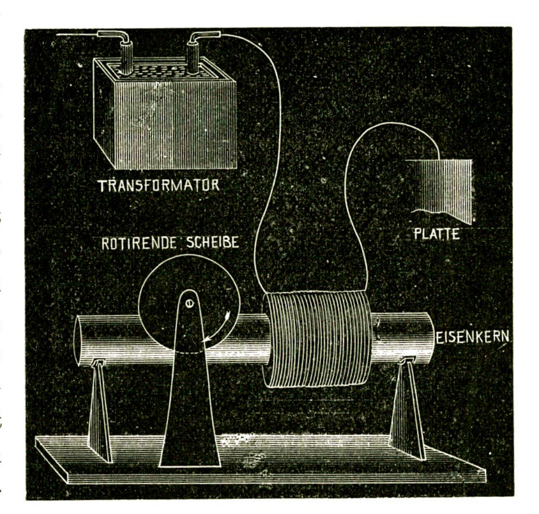


Fig. 146.

Es muss bemerkt werden, dass, wenn ein solcher Motor mit einer geschlossenen sekundären Wickelung benutzt wird, es überhaupt nicht leicht ist, bei ausserordentlich hohen Frequenzen eine Drehung zu erzielen, da die sekundäre Spule die Kraftlinien der primären beinahe vollständig abschneidet — und zwar natürlich um so mehr, je höher die Frequenz ist — und nur den Durchgang eines kleinen Stromes gestattet. In einem solchen Falle ist es, wenn nicht die sekundäre Spule durch einen Kondensator geschlossen ist, zur Erzeugung einer Rotation beinahe wesentlich, dass die primären und sekundären Wickelungen mehr oder weniger übereinandergreifen.

Es besitzt aber dieser Motor noch eine andere interessante Eigenthümlichkeit, nämlich dass es nicht einmal nothwendig ist, auch nur eine einzige Verbindung zwischen dem Motor und dem Generator herzustellen, ausser vielleicht durch die Erde; denn nicht nur vermag eine isolirte Platte Energie in den Raum abzugeben, sondern sie ist in gleicher Weise im Stande, solche aus einem wechselnden elektrostatischen Felde aufzunehmen, obwohl im letzteren Falle die nutzbare Energie geringer ist. Im gegenwärtigen Falle ist die eine Klemme des Motors mit der isolirten Platte oder mit dem innerhalb des wechselnden elektrostatischen Feldes befindlichen Körper und die andere am besten mit der Erde verbunden.

Es ist indessen durchaus möglich, dass solche „Motoren ohne Zuleitungsdraht“, wie sie genannt werden könnten, vermittelst Leitung durch das verdünnte Gas hindurch in beträchtlicher Entfernung betrieben werden können. Wechselströme, besonders solche von hoher Frequenz, gehen mit erstaunlicher Leichtigkeit durch selbst nur wenig verdünnte Gase hindurch. Die oberen Schichten der Atmosphäre sind verdünnt. Um einige Kilometer in den Raum einzudringen, bedarf es nur der Ueberwindung von Schwierigkeiten rein mechanischer Natur. Es besteht kein Zweifel, dass bei den enormen Spannungen, wie sie sich bei Verwendung von hohen Frequenzen und Oelisolation erreichen lassen, Lichtentladungen über viele Kilometer verdünnter Luft übertragen werden könnten und dass man, indem man so die Energie vieler Hunderte oder Tausende von Pferdekräften überträgt, Motoren oder Lampen in beträchtlicher Entfernung von den stationären Elektricitätsquellen betreiben könnte. Indessen führe ich dies nur als eine Möglichkeit an. Wir werden wohl nicht in die Lage kommen, auf diese Weise Kraft übertragen zu müssen. Die Uebertragung der Kraft wird überhaupt nicht nöthig sein. Ehe viele Generationen vergehen, werden unsere Maschinen von einer Kraft getrieben werden, die an jedem Punkte des Universums erhältlich ist. Dieser Gedanke ist nicht neu. Die Menschen sind auf ihn schon lange sei es durch Instinkt oder sei es durch Ueberlegung gekommen. Derselbe ist in verschiedener Weise und an vielen Stellen in der Geschichte der alten und neuen Welt zum Ausdruck gelangt. Wir finden ihn in der köstlichen Sage vom Antheus, der seine Stärke aus der Erde erhielt; wir finden ihn in den subtilen Spekulationen eines ihrer hervorragendsten Mathematiker und in vielen Andeutungen und Aussprüchen der Denker unserer Zeit. Ueberall im ganzen Raume ist Energie vorhanden. Ist diese Energie statischer oder kinetischer Natur? Wäre sie statischer Natur, so würden unsere Hoffnungen vergeblich sein; ist sie kinetischer Natur — und dies ist, wie wir wissen, sicher der Fall —, so ist es eine blosse Frage der Zeit, ob es den Menschen gelingen wird, ihre Maschinen an das Räderwerk der Natur anzuschliessen. Von allen, die leben oder gelebt haben, kam Crookes diesem am nächsten. Sein Radiometer dreht sich im Lichte des Tages und in der Dunkelheit der Nacht, es dreht sich überall, wo Wärme ist, und Wärme ist überall. Aber leider muss diese hübsche kleine Maschine, obwohl sie als die interessanteste aller bisher erfundenen auf die Nachwelt kommen wird, auch als die unwirksamste von allen bezeichnet werden.

Der vorhergehende Versuch ist nur einer von vielen ebenso interessanten Versuchen, welche bei Verwendung nur eines Drahtes mit

Wechselströmen von hoher Spannung und hoher Frequenz ausgeführt werden können. Wir können eine isolirte Leitung mit einer Quelle solcher Ströme verbinden, wir können über die Leitung einen kaum messbaren Strom entsenden und vermögen an jeder Stelle derselben einen starken Strom, der einen dicken Kupferdraht zu schmelzen im Stande ist, erhalten. Oder wir können mit Hülfe eines gewissen Kunstgriffes eine Lösung in einer elektrolytischen Zelle zerlegen, indem wir nur einen Pol der Zelle mit der Leitung oder der Energiequelle verbinden. Oder wir können durch Verbindung mit der Leitung, ja selbst durch blosse Annäherung an dieselbe, eine Glühlampe, eine Vakuumröhre oder eine phosphorescirende Glasbirne zum Leuchten bringen.

Wie unpraktisch diese Art des Betriebes in vielen Fällen auch erscheinen mag, so ist sie sicher bei der Erzeugung von Licht nicht nur ausführbar, sondern sogar empfehlenswerth. Eine vollkommene Lampe würde nur wenig Energie erfordern, und wenn Drähte überhaupt verwendet würden, so würden wir doch jene Energie zu liefern vermögen, ohne dass eine Rückleitung erforderlich wäre.

Nun ist es eine Thatsache, dass ein Körper dadurch glühend oder phosphorescirend werden kann, dass man ihn entweder mit einer Quelle elektrischer Impulse von geeigneter Beschaffenheit in einfache Berührung oder bloss in die Nähe der letzteren bringt und dass auf diese Weise eine Lichtmenge, die ausreicht, um ein praktisches Beleuchtungsmittel abzugeben, erzeugt werden kann. Es ist daher wohl, um das mindeste zu sagen, der Mühe werth, zu versuchen, die besten Bedingungen zur Erreichung dieses Zieles zu erforschen und die besten Apparate dafür zu erfinden.

Einige Erfahrungen sind bereits nach dieser Richtung hin gewonnen worden, und ich will dieselben kurz darlegen in der Hoffnung, dass sie sich als nützlich erweisen werden.

Die Erwärmung eines leitenden Körpers, welcher in eine Glasbirne eingeschlossen und mit einer Quelle rasch wechselnder elektrischer Impulse verbunden ist, ist von so vielen Dingen verschiedener Art abhängig, dass es schwierig sein würde, eine allgemeine Regel dafür zu geben, unter welchen Bedingungen die maximale Wärmewirkung eintritt. Was die Grösse des Gefässes anlangt, so habe ich jüngst gefunden, dass bei gewöhnlichem oder nur wenig davon verschiedenem Luftdrucke, wo Luft ein guter Isolator ist und daher bei einer bestimmten Spannung und Frequenz praktisch der gleiche Energiebetrag vom Körper abgegeben wird, mag die Birne gross oder klein sein, der in einer kleineren Birne eingeschlossene Körper wegen der grösseren Koncentration der Wärme in diesem Falle zu einer höheren Temperatur gebracht wird.

Bei geringeren Drucken, wo Luft ein mehr oder weniger guter Leiter wird, oder wenn die Luft genügend erwärmt wird, um leitend zu werden, wird der Körper in einer weiten Birne intensiver glühend, augenscheinlich weil unter sonst gleichen Versuchsbedingungen von dem Körper in einer grossen Birne mehr Energie abgegeben werden kann.

Bei sehr hohem Grade der Evakuirung, wo die Materie in der Birne „strahlend" wird, ist die grosse Birne ebenfalls, aber in verhältnissmässig geringem Grade, vortheilhafter als die kleine.

Schliesslich scheint bei einem ausserordentlich hohen Vakuum, welches nur durch Anwendung besonderer Hülfsmittel erreicht werden kann, über eine gewisse und ziemlich geringe Grösse des Gefässes hinaus kein wahrnehmbarer Unterschied in der Erwärmung zu bestehen.

Diese Bemerkungen sind das Resultat einer Anzahl von Versuchen, von denen einer, welcher die Wirkung der Grösse des Gefässes bei sehr hohem Grade der Evakuirung zeigt, hier beschrieben und vorgeführt werden möge, da er eine interessante Eigenthümlichkeit darbietet. Es wurden drei Kugeln von 50, 75 und 100 mm Durchmesser genommen und im Mittelpunkte einer jeden wurde ein gleichlanges Stück eines gewöhnlichen Glühlampenfadens von gleichmässiger Dicke befestigt. In jeder Kugel wurde das Fadenstück an dem Einführungsdrahte aus Platin befestigt, welcher in einem an der Kugel angeschmolzenen Glasstiel enthalten war, wobei natürlich die grösste Sorgfalt darauf verwendet wurde, dass alle Verhältnisse möglichst gleich waren. Auf jeden Glasstiel im Innern der Kugel wurde ein fein polirtes Rohr aus Aluminiumblech gestülpt, welches an den Stiel genau anpasste und durch Federdruck an demselben festgehalten wurde. Die Funktion dieser Aluminiumröhre wird nachher erklärt werden. In jeder Kugel ragte ein gleichlanges Stück des Fadens über die Metallröhre hinaus. Ich brauche wohl nur zu sagen, dass unter diesen Bedingungen gleiche Längen des Fadens von derselben Dicke — mit andern Worten, Körper von gleicher Oberfläche — zum Glühen gebracht wurden. Die drei Kugeln waren an ein Glasrohr angeschmolzen, welches mit einer Sprengel'schen Pumpe in Verbindung stand. Sobald ein hohes Vakuum erreicht war, wurde das die Kugeln tragende Glasrohr abgeschmolzen. Sodann wurde ein Strom der Reihe nach auf jede der Kugeln geschaltet und es ergab sich, dass die Fäden etwa die gleiche Helligkeit erreichten; höchstens leuchtete die kleinste Kugel, welche sich mitten zwischen den beiden grösseren befand, ein wenig heller. Dieses Resultat hatte ich erwartet, da, wenn irgend eine der Kugeln mit der Spule verbunden wurde, das Licht sich über

die andern beiden verbreitete, so dass die drei Kugeln in Wirklichkeit nur ein Gefäss bildeten. Wurden alle drei Kugeln parallel auf die Spule geschaltet, so glühte der Faden in der grössten derselben am hellsten, in der nächstkleineren etwas weniger hell und in der kleinsten kam er nur zur Rothgluth. Die Kugeln werden dann abgeschmolzen und einzeln untersucht. Die Helligkeit der Fäden war nun derart, wie sie unter der Annahme zu erwarten war, dass die abgegebene Energie der Oberfläche der Kugel proportional sei, da diese Oberfläche in jedem Falle die eine Belegung eines Kondensators darstellte. Demgemäss war der Unterschied zwischen der grössten und der mittleren Kugel geringer als der zwischen der letzteren und der kleinsten.

Bei diesem Versuch wurde eine interessante Beobachtung gemacht. Die drei Kugeln waren an einem geraden nackten Draht aufgehängt, der mit einem Pole einer Spule verbunden war. Die grösste Kugel befand sich am Ende des Drahtes, die kleinste in einem gewissen Abstande davon und die mittlere in gleichem Abstande von der letzteren. Die Kohlen glühten in den beiden grösseren Kugeln nach Erwarten, dagegen war dies bei der kleinsten bei weitem nicht der Fall. Diese Beobachtung führte mich darauf, die Lage der Kugeln zu vertauschen, und ich bemerkte dann, dass diejenige der Kugeln, welche sich gerade in der Mitte befand, bei weitem weniger hell war als in jeder anderen Lage. Dieses räthselhafte Ergebniss hatte natürlich, wie sich herausstellte, seinen Grund in der elektrostatischen Wirkung zwischen den Kugeln. Wenn dieselben in beträchtlicher Entfernung von einander angebracht oder wenn sie an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks aus Kupferdraht befestigt wurden, so glühten sie ungefähr in der durch ihre Oberflächen bestimmten Abstufung.

Was die Form des Gefässes anlangt, so ist dieselbe ebenfalls von einiger Bedeutung, insbesondere bei hohem Grade der Evakuirung. Von allen möglichen Konstruktionen scheint die Kugelform, in deren Mitte sich der feuerbeständige Körper befindet, die beste zu sein. Die Erfahrung hat gezeigt, dass in einer solchen Kugel ein feuerbeständiger Körper von gegebener Oberfläche leichter zum Glühen gebracht wird, als wenn anders gestaltete Birnen gebraucht werden. Ferner ist es aus naheliegenden Gründen vortheilhaft, auch dem Glühkörper die Kugelform zu geben. In jedem Falle sollte der Körper in dem Mittelpunkte angebracht werden, wo die von dem Glase zurückprallenden Atome zusammenstossen. Dies lässt sich am besten bei der kugelförmigen Birne erreichen; doch lässt es sich auch in einem cylindrischen Gefässe mit einem oder zwei geraden mit der Achse des Cylinders zusammenfallenden

Fäden und möglicher Weise auch in parabolischen oder elliptischen Birnen, in deren Brennpunkten die feuerbeständigen Körper sich befinden, erreichen; allerdings ist dies letztere nicht wahrscheinlich, da die elektrisirten Atome in allen Fällen normal von der von ihnen getroffenen Fläche zurückprallen müssten, wofern nicht die Geschwindigkeit ausserordentlich hoch wäre, in welchem Falle sie wahrscheinlich das allgemeine Reflexionsgesetz befolgen würden. Welche Form aber auch das Gefäss haben möge, es wird der in demselben angebrachte Faden, wenn die Luftverdünnung gering ist, in allen Theilen den gleichen Glühgrad zeigen. Ist die Evakuirung aber hoch und das Gefäss kugel- oder birnenförmig, wie gewöhnlich, so bilden sich Brennpunkte und der Faden wird an diesen Stellen oder in der Nähe derselben in höherem Grade erhitzt.

Um die Wirkung zu zeigen, habe ich hier zwei kleine Birnen, die einander vollkommen gleich sind, nur dass die eine mehr, die andere weniger evakuirt ist. Werden dieselben mit der Spule verbunden, so glüht der Faden in der letzteren seiner ganzen Länge nach gleichmässig, während in der ersteren stärker evakuirten Birne der im Mittelpunkt der Birne befindliche Theil des Fadens bei weitem intensiver glüht als der übrige Theil. Ein merkwürdiger Punkt hierbei ist, dass die Erscheinung auch auftritt, wenn zwei Fäden in einer Birne angebracht werden, die beide mit dem einen Pole der Spule verbunden sind, und, was noch merkwürdiger ist, auch wenn sie beide dicht bei einander stehen, wofern nur das Vakuum sehr hoch ist. Ich bemerkte bei Versuchen mit solchen Birnen, dass die Fäden in der Regel an einem bestimmten Punkte zerbrachen, und schrieb dies bei den ersten Versuchen einem Mangel in der Kohle zu. Als aber die Erscheinung mehrmals hinter einander auftrat, erkannte ich ihre wahre Ursache.

Um einen feuerfesten in eine Glasbirne eingeschlossenen Körper zum Glühen zu bringen, ist es mit Rücksicht auf die Oekonomie wünschenswerth, dass die gesammte der Birne von der Stromquelle zugeführte Energie ohne Verlust den zu erhitzenden Körper erreicht; von hier, und von nirgendwo anders, sollte dieselbe ausgestrahlt werden. Es ist natürlich nicht die Rede davon, dass man dieses theoretische Resultat erreichen könne, aber es ist möglich, durch eine geeignete Konstruktion des Beleuchtungskörpers sich diesem Ziele mehr oder weniger zu nähern.

Aus mancherlei Gründen wird der feuerbeständige Körper in den Mittelpunkt der Birne gesetzt und gewöhnlich von einem den Einführungsdraht enthaltenden Glasstiel getragen. Sobald die Spannung dieses Drahtes

alternirt wird, wird das den Stiel umgebende verdünnte Gas induktiv beeinflusst und der Glasstiel wird heftig bombardirt und erhitzt. Auf diese Weise kann der bei weitem grössere Theil der der Birne zugeführten Energie, insbesondere bei Verwendung sehr hoher Frequenzen, für den erwähnten Zweck vergeudet werden. Um diesen Verlust zu vermeiden oder ihn wenigstens auf ein Geringstes zu reduciren, habe ich in der Regel das verdünnte, den Stiel umgebende Gas vor der induktiven Wirkung des Einführungsdrahtes dadurch geschützt, dass ich den Stiel mit einer Röhre oder einer Bekleidung aus leitendem Material umgab. Es erscheint zweifellos, dass Aluminium wegen seiner vielen bemerkenswerthen Eigenschaften das beste für diesen Zweck zu verwendende Metall ist. Der einzige Fehler desselben ist seine leichte Schmelzbarkeit, weshalb der Abstand desselben von dem glühenden Körper richtig abgeschätzt werden muss. Gewöhnlich wird ein dünnes Rohr von einem etwas kleineren Durchmesser als derjenige des Glasstieles aus feinstem Aluminiumblech hergestellt und auf den Stiel aufgezogen. Das Rohr wird in zweckmässiger Weise dadurch hergestellt, dass man um einen in einer Drehbank befestigten Stab ein Stück Aluminiumblech von passender Grösse herumwickelt, das Blech mit reinem Ziegenleder oder Fliesspapier fest anfasst und den Stab sehr schnell herumdreht. Das Blech wickelt sich dicht um den Stab herum und man erhält eine blank polirte Röhre aus einer oder zwei Lagen Blech. Wird dieselbe auf den Stiel aufgezogen, so ist der Druck im Allgemeinen hinreichend, um ein Abstreifen derselben zu verhindern, der Sicherheit wegen aber biegt man den unteren Rand des Bleches etwas nach innen um. Der obere innere Rand des Bleches, d. h. derjenige, welcher dem feuerfesten glühenden Körper am nächsten liegt, sollte diagonal ausgeschnitten werden, da es sehr oft vorkommt, dass sich dieser Rand infolge der intensiven Hitze nach innen biegt und dem den feuerfesten Körper tragenden Drahte nahe oder mit ihm in Berührung kommt. Der grössere Theil der der Birne zugeführten Energie würde dann zur Erwärmung der Metallröhre verbraucht und die Birne für den Zweck unbrauchbar werden. Das Aluminiumblech muss über den Glasstiel mehr oder weniger — etwa 25 mm — hervorragen, da sonst das Glas, wenn es zu nahe an den glühenden Körper herankommt, stark erhitzt und mehr oder weniger leitend werden könnte, wodurch das Glas entweder springt oder infolge seiner Leitungsfähigkeit eine gute elektrische Verbindung zwischen der Metallröhre und dem Einführungsdrahte herstellt, in welchem Falle wiederum der grösste Theil der Energie in der Erwärmung der ersteren verloren gehen würde. Am besten macht man den oberen Theil der Glasröhre auf eine Länge

von etwa 25 mm von viel kleinerem Durchmesser. Um die aus der Erhitzung des Glasstieles entstehende Gefahr noch weiter zu vermindern und ferner um eine elektrische Verbindung zwischen der Metallröhre und der Elektrode zu verhüten, ziehe ich es vor, den Stiel mit mehreren Lagen von dünnem Glimmer zu umwickeln, die sich wenigstens soweit wie die Metallröhre erstrecken. Bei einigen Glasbirnen habe ich auch eine äussere isolirende Umkleidung benutzt.

Die vorstehenden Bemerkungen wurden nur gemacht, um den Experimentator bei seinen ersten Versuchen etwas zu unterstützen, da er die Schwierigkeiten, denen er begegnet, bald selbst zu überwinden wissen wird.

Um die Wirkung des Schirmes und die Vortheile seiner Verwendung zu veranschaulichen, habe ich hier zwei Glasbirnen von derselben Grösse, welche in Bezug auf ihre Stiele, Einführungsdrähte und die an letztere angeknüpften Glühfäden so nahe als möglich gleich sind. Der Stiel der einen Birne ist mit einer Aluminiumröhre versehen, der Stiel der andern nicht. Ursprünglich waren die beiden Birnen durch eine Röhre verbunden, die mit einer Sprengel'schen Luftpumpe in Verbindung stand. Nachdem ein hohes Vakuum erreicht war, wurde zuerst die Verbindungsröhre und dann die Birnen abgeschmolzen; sie besassen daher denselben Grad der Luftverdünnung. Werden dieselben mit der eine bestimmte Spannung gebenden Spule einzeln verbunden, so wird der Kohlenfaden in der mit dem Aluminiumschirme versehenen Birne hochglühend, während der Faden in der andern Birne bei gleicher Spannung nicht einmal bis zur Rothgluth kommen kann, obwohl diese letztere Birne in Wirklichkeit im Allgemeinen mehr Energie aufnimmt als erstere. Werden dieselben beide gleichzeitig mit der Klemme der Spule verbunden, so ist der Unterschied noch auffälliger, ein Beweis für die Wichtigkeit der Anbringung des Schirmes. Die Metallröhre, welche auf den den Einführungsdraht enthaltenden Stiel gesetzt wird, verrichtet in Wirklichkeit zwei verschiedene Funktionen: Erstens wirkt sie mehr oder weniger wie ein elektrostatischer Schirm, wodurch an der der Birne zugeführten Energie gespart wird, und zweitens wirkt sie, soweit sie es an elektrostatischer Wirkung fehlen lässt, mechanisch, indem sie das Bombardement und demgemäss die intensive Erhitzung und mögliche Abnutzung des schwachen Trägers des feuerfesten Glühkörpers oder des den Einführungsdraht enthaltenden Glasstiels verhindert. Ich sage „schwachen Trägers", denn es ist klar, dass, um die Wärme um so vollständiger auf den glühenden Körper zu koncentriren, der Träger des letzteren sehr dünn sein muss, damit möglichst wenig Wärme durch Leitung fortgeführt werde. Von allen Trägern, die ich verwendet

habe, hat sich mir ein gewöhnlicher Glühlampenfaden als der beste erwiesen, hauptsächlich deshalb, weil er unter den Leitern der Hitze am besten zu widerstehen vermag.

Die Wirksamkeit der Metallröhre als eines elektrostatischen Schirmes hängt in hohem Maasse von dem Grade der Evakuirung ab. Bei ausserordentlich hoher Luftverdünnung, wie man sie unter Anwendung grosser Sorgfalt und besonderer Hülfsmittel mit einer Sprengel'schen Pumpe erreichen kann, und bei welcher sich die Materie in der Kugel jenseits des Zustandes der „strahlenden" Materie befindet, wirkt die Metallröhre am vollkommensten. Der Schatten des oberen Randes der Röhre ist dann an der Birne scharf begrenzt.

Bei einer etwas geringeren Luftverdünnung, die etwa dem gewöhnlichen Vakuum entspricht, bei welchem ein Durchschlagen nicht stattfindet, und allgemein, so lange als sich die Materie vorwiegend in geraden Linien bewegt, wirkt der Schirm ebenfalls noch gut. Zur Erläuterung dieser Bemerkung muss ich jedoch sagen, dass dasjenige Vakuum, welches für eine wie gewöhnlich von Strömen niedriger Spannung in Thätigkeit erhaltene Spule ein nicht zu durchschlagendes ist, bei weitem nicht diese Eigenschaft besitzt, wenn die Spule mit Strömen von sehr hoher Frequenz betrieben wird. In einem solchen Falle kann die Entladung mit grosser Leichtigkeit durch das verdünnte Gas hindurchgehen, durch welches selbst bei viel höherer Spannung eine Entladung niedriger Frequenz nicht hindurchgehen würde. Bei gewöhnlichem Atmosphärendrucke ist gerade die umgekehrte Regel richtig: je höher die Frequenz, um so weniger ist die Funkenentladung im Stande, zwischen den Elektroden überzuspringen, insbesondere wenn dieselben Knöpfe oder Kugeln von einiger Grösse sind.

Bei sehr geringer Verdünnung schliesslich, wo das Gas gut leitend ist, wirkt die Metallröhre nicht nur nicht als elektrostatischer Schirm, sondern ist geradezu ein Uebelstand, da sie in beträchtlichem Maasse die Zerstreuung der Energie seitlich von dem Einführungsdrahte unterstützt. Dies ist natürlich zu erwarten. In diesem Falle ist nämlich die Metallröhre in guter elektrischer Verbindung mit dem Einführungsdrahte und der grösste Theil des Bombardements ist nach der Röhre gerichtet. Solange als die elektrische Verbindung nicht gut ist, ist die leitende Röhre stets von einigem Vortheil, da sie, wenn sie auch nicht erheblich an Energie spart, doch den Träger des feuerfesten Knopfes schützt und dazu dient, mehr Energie auf denselben zu koncentriren.

In welchem Maase also auch immer die Aluminiumröhre die Rolle eines Schirmes spielen möge, so ist doch jedenfalls ihre Anwendbarkeit

auf sehr hohe Grade der Luftverdünnung beschränkt, falls sie von der Elektrode isolirt ist, d. h. wenn das Gas als Ganzes nicht leitend ist und die Moleküle oder Atome wie unabhängige Träger elektrischer Ladungen wirken.

Abgesehen von der Wirkung als mehr oder weniger effektiver Schirm in der eigentlichen Bedeutung des Wortes, kann die leitende Röhre oder Belegung eben wegen ihrer Leitungsfähigkeit auch als eine Art von Ausgleicher oder Dämpfer des Bombardements gegen den Stiel wirken. Um mich deutlicher auszudrücken, nehme ich an, die Wirkung sei folgende: Unter der Voraussetzung, dass ein rythmisches Bombardement gegen die leitende Röhre infolge ihrer unvollkommenen Wirkung als Schirm eintritt, muss es sicher vorkommen, dass einige Moleküle oder Atome die Röhre eher treffen als die andern. Diejenigen, welche zuerst mit ihr in Berührung kommen, geben ihre überflüssige Ladung ab und die Röhre wird elektrisirt und zwar breitet sich die Elektrisirung augenblicklich über ihre Oberfläche aus. Dies muss aber den Energieverlust durch Bombardement aus zwei Gründen verringern: Erstens breitet sich die von den Atomen abgegebene Energie über eine grosse Fläche aus und daher ist die elektrische Dichte an jedem Punkte gering und die Atome werden mit geringerer Energie abgestossen, als es der Fall sein würde, wenn sie auf einen guten Isolator stiessen; zweitens wird, da die Röhre durch die zuerst mit ihr in Berührung kommenden Atome elektrisirt wird, das Vordringen der nachfolgenden Atome gegen die Röhre mehr oder weniger durch die Abstossung aufgehalten, welche die elektrisirte Röhre auf die gleichnamig elektrisirten Atome ausüben muss. Diese Abstossung ist möglicher Weise hinreichend, um einen grossen Theil der Atome am Anprallen gegen die Röhre zu verhindern, jedenfalls aber muss sie die Energie des Anprallens verringern. Es ist klar, dass, wenn die Evakuirung sehr gering und das verdünnte Gas gut leitend ist, keine der obigen Wirkungen eintreten kann und dass andererseits, je weniger Atome vorhanden sind, dieselben sich mit um so grösserer Freiheit bewegen; mit andern Worten, je höher der Grad der Evakuirung bis zu einer gewissen Grenze ist, um so grössere Bedeutung werden beide Effekte haben.

Das eben Gesagte kann eine Erklärung geben für die von Prof. Crookes beobachtete Erscheinung, dass eine Entladung durch eine Glasbirne mit viel grösserer Leichtigkeit eintritt, wenn ein Isolator, als wenn ein Leiter in derselben vorhanden ist. Meiner Ansicht nach wirkt der Leiter wie ein Dämpfer der Bewegung der Atome aus den beiden vorher angegebenen Gründen; um daher den Uebergang einer sichtbaren

Entladung durch die Birne zu veranlassen, ist beim Vorhandensein eines Leiters, insbesondere von grosser Oberfläche, eine viel höhere Spannung erforderlich.

Behufs Erläuterung einiger der vorher gemachten Bemerkungen muss ich nun auf die Fig. 147, 148 und 149 verweisen, welche verschiedene Anordnungen mit einer der am meisten gebrauchten Birnenkonstruktionen darstellen.

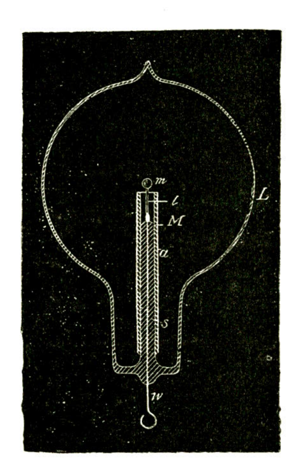


Fig. 147.

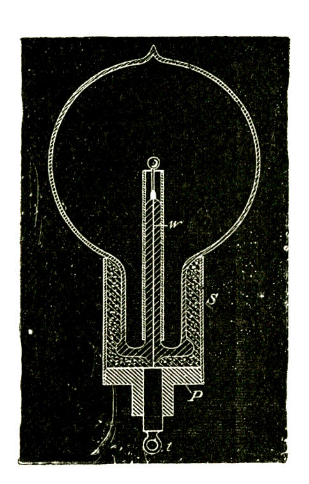


Fig. 148.

Fig. 147 ist ein Schnitt durch eine sphärische Birne *L* nebst Glasstiel *s*, welcher den Einführungsdraht *w* enthät. An letzterem ist ein Lampenfaden *l* befestigt, der als Träger für den feuerfesten Knopf *m* im Mittelpunkte der Birne dient. *M* ist ein dünnes Glimmerplättchen, welches in mehreren Lagen um den Stil *s* herumgewickelt ist, und *a* ist die Aluminiumröhre.

Fig. 148 stellt eine solche Birne von einer etwas vervollkommneteren Konstruktion dar. An dem Halse der Birne ist eine metallische Röhre *S* angekittet. In die Röhre *S* ist ein Stöpsel *P* aus isolirendem Material eingeschraubt, in dessen Mitte eine metallische Klemme *t* zur Verbindung mit dem Einführungsdrahte *w* angebracht ist. Diese Klemme muss von der Metallröhre *S* gut isolirt sein. Wenn daher der benutzte Kitt leitend ist — und meistens ist dies in genügendem Grade der Fall —, so muss der Raum zwischen dem Stöpsel *P* und dem Halse der Birne mit einem guten Isolationsmaterial, wie z. B. Glimmerpulver, ausgefüllt werden.

Fig. 149 zeigt eine für Versuchszwecke hergestellte Birne. In derselben ist die Aluminiumröhre mit einer nach aussen führenden Verbindung versehen, welche dazu dient, die Wirkung der Röhre unter verschiedenen Verhältnissen zu untersuchen. Ich erwähne dieselbe hauptsächlich aus dem Grunde, um die Richtung, in welcher sich einige Versuche bewegten, anzudeuten.

Da das Bombardement gegen den Stiel, welcher den Einführungsdraht enthält, von der induktiven Wirkung des letzteren auf das verdünnte Gas herrührt, so ist es vortheilhaft, diese Wirkung soweit als möglich dadurch zu reduciren, dass man einen sehr dünnen Draht, der

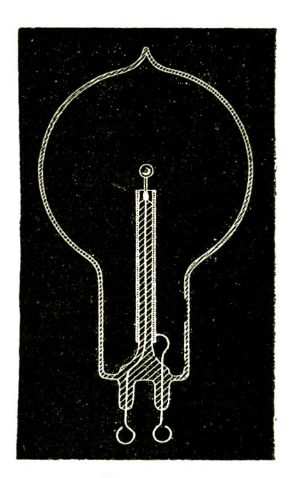


Fig. 149.

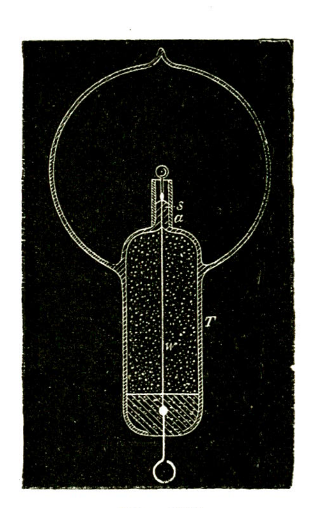


Fig. 150.

von einer sehr dicken Isolation aus Glas oder einem andern Material umgeben ist, anwendet und den durch das verdünnte Gas hindurchgehenden Draht so kurz wie möglich macht. Um dieses beides zu vereinigen, verwende ich eine weite Röhre T (Fig. 150), welche eine Strecke weit in die Birne hineinragt und an ihrem oberen Theile einen sehr kurzen Glasstiel s trägt, in welchen der Einführungsdraht w eingeschmolzen ist, und schütze den oberen Theil des Glasstiels gegen Wärme durch eine kleine Aluminiumröhre a und eine Lage Glimmer unter derselben, wie gewöhnlich. Der Draht w, der durch die weite Röhre hindurch nach aussen geht, muss gut isolirt sein, durch eine Glasröhre z. B., und der Raum zwischen dem Drahte und der Röhre T muss mit einem vorzüglichen Isolationsmaterial ausgefüllt werden. Unter vielen isolirenden Pulvern erwies sich mir Glimmerpulver als das beste.

Wird diese Vorsichtsmassregel nicht getroffen, so wird die in die Birne hineinragende Röhre *T* sicher zerbrechen infolge der Erhitzung durch die Büschel, welche sich in dem oberen Theile der Röhre in der Nähe der evakuirten Birne bilden können, besonders wenn das Vakuum sehr gut und daher die zum Betriebe der Lampe erforderliche Spannung sehr hoch ist.

Fig. 151 stellt eine ähnliche Anordnung mit einer weiten Röhre *T* dar, die in den den feuerbeständigen Knopf *m* enthaltenden Theil der Birne hineinragt. In diesem Falle ist der von aussen in die Birne hineinführende Draht weggelassen, da die erforderliche Energie durch die Kondensatorbelegungen *C C* geliefert wird. Die isolirende Packung *P* muss in dieser Konstruktion dicht an das Glas anschliessen und ziemlich dick sein, da sonst die Entladung möglicher Weise nicht durch den Draht *w*, welcher die innere Kondensatorbelegung mit dem Glühknopfe *m* verbindet, gehen würde.

Das molekulare Bombardement gegen den Glasstiel in der Birne ist eine Quelle grosser Störungen. Zur Erläuterung will ich eine Erscheinung erwähnen, die nur zu häufig und ungern beobachtet wird. Man nehme eine, am besten weite, Glasbirne und befestige in ihr an einem in den Glasstiel eingeschmolzenen Platindraht einen gut leitenden Körper, z. B. ein Stück Kohle. Die Birne werde in ziemlich hohem Grade, bis nahe zu dem Punkte, wo die Phosphorescenz aufzutreten beginnt, evakuirt. Wird die Birne mit der Spule verbunden, so kann das Kohlenstück, besonders wenn es klein ist, anfangs hochglühend werden, aber seine Helligkeit nimmt rasch ab, und dann kann die Entladung das Glas etwa in der Mitte des Stieles in der Form glänzender Funken durchschlagen, trotzdem der Platindraht durch das Kohlenstück oder das Metall oben in guter elektrischer Verbindung mit dem verdünnten Gase ist. Die ersten Funken sind hervorragend glänzend, ähnlich denen, die man aus einer reinen Quecksilberfläche ziehen kann. Da sie jedoch das Glas rasch erhitzen, so verlieren sie natürlich ihren Glanz und hören ganz auf, wenn das Glas an der zerbrochenen Stelle glühend oder allgemein genügend heiss wird, um zu leiten. Wenn man die Erscheinung zum ersten Male beobachtet, erscheint sie einem höchst merkwürdig und zeigt in auffälliger Weise, wie grundverschieden sich Wechselströme oder Stromstösse von hoher Frequenz im Vergleich zu Gleichströmen oder Strömen niedriger Frequenz verhalten. Bei solchen Strömen, namentlich bei den letzteren, würde die Erscheinung natürlich nicht auftreten. Werden solche Frequenzen benutzt, wie sie durch mechanische Hülfsmittel erzeugt werden können, so dürfte das Zer-

springen des Glases mehr oder weniger durch das Bombardement veranlasst sein, welches das Glas erwärmt und seine Isolationsfähigkeit schwächt; bei Frequenzen aber, wie sie mit Kondensatoren erreichbar sind, kann das Glas zweifellos auch ohne vorherige Erwärmung springen. Obwohl dies auf den ersten Blick sehr sonderbar erscheint, muss man in Wirklichkeit doch das Eintreten einer solchen Wirkung erwarten. Die dem Einführungsdrahte zugeführte Energie wird nämlich theilweise durch direkte Wirkung durch den Kohlenknopf hindurch und theilweise durch induktive Wirkung durch das den Draht umgebende Glas abgegeben. Der Fall ist also demjenigen analog, bei welchem ein durch einen Leiter von geringem Widerstande nebengeschlossener Kondensator mit einer Wechselstromquelle verbunden ist. So lange die Frequenzen niedrig sind, erhält der Leiter die meiste Energie, und der Kondensator ist vollkommen sicher; wenn aber die Frequenz ausserordentlich hoch wird, so spielt der Leiter eine ganz unbedeutende Rolle. Im letzteren Falle kann die Spannungsdifferenz an den Klemmen des Kondensators so gross werden, dass das Dielektrikum durchschlagen wird, trotz des Umstandes, dass die Klemmen durch einen Leiter von geringem Widerstande verbunden sind.

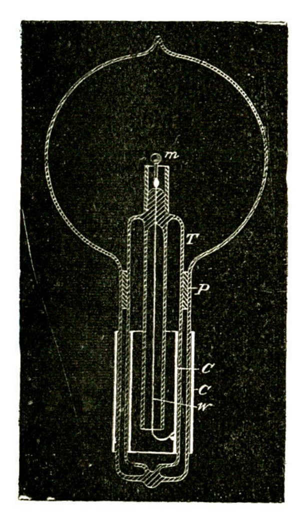


Fig. 151.

Will man einen in einer Glasbirne eingeschlossenen Körper mittels solcher Ströme zum Glühen bringen, so braucht der Körper natürlich nicht ein Leiter zu sein, da auch ein vollkommener Nichtleiter ganz ebenso leicht erhitzt wird. Zu diesem Zwecke braucht man nur eine leitende Elektrode mit einem nichtleitenden Material zu umgeben, wie z. B. bei der vorher in Fig. 150 beschriebenen Birne, bei welcher ein dünner Glühlampenfaden mit einem Nichtleiter umhüllt ist und einen Knopf aus gleichem Material an der Spitze trägt. Anfangs erfolgt das Bombardement infolge der induktiven Wirkung durch den Nichtleiter hindurch, bis derselbe genügend heiss wird, um zu leiten, wo dann das Bombardement in der gewöhnlichen Weise weiter fortgeht.

Eine andere Anordnung, welche in einigen der von mir hergestellten Birnen angewendet wurde, ist in Fig. 152 dargestellt. In diesem Falle ist ein Nichtleiter m auf einem Stück gewöhnlicher Bogenlampenkohle derart befestigt, dass er ein wenig über die letztere hervorragt.

Das Kohlenstück ist mit dem durch einen Glasstiel hindurchgehenden Einführungsdraht verbunden und der Glasstiel ist mit mehreren Lagen Glimmer umwickelt. Wie gewöhnlich ist eine Aluminiumröhre *a* als Schirm benutzt. Dieselbe ist derart angeordnet, dass sie nahezu ebenso hoch hinaufreicht wie die Kohle und nur der Nichtleiter *m* ein wenig über sie hinausragt. Das Bombardement erfolgt zunächst gegen die obere Fläche der Kohle, während die unteren Theile durch die Aluminiumröhre geschützt werden. Sobald indessen der Nichtleiter *m* erwärmt und daher gut leitend wird, so wird er der Mittelpunkt des Bombardements und ist demselben am meisten ausgesetzt.

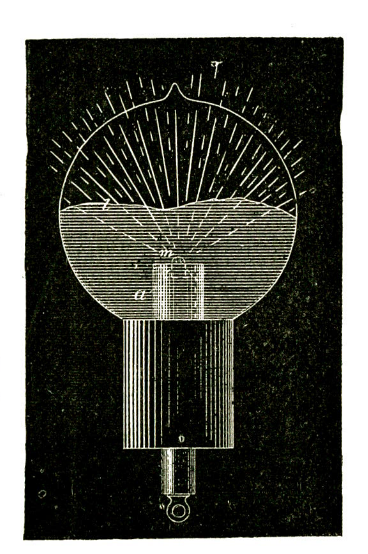


Fig. 152.

Ich habe im Verlaufe dieser Versuche auch viele solche Birnen mit einem einzigen Draht mit oder ohne innere Elektrode hergestellt, bei denen die strahlende Materie gegen den glühend zu machenden Körper geschleudert oder auf denselben koncentrirt wurde. Fig. 153 (Seite 267) stellt eine dieser Birnen dar. Dieselbe besteht aus einer Kugel *L*, die oben mit einem langen Halse *n* versehen ist, um in gewissen Fällen die Wirkung durch Anbringung einer äusseren leitenden Belegung verstärken zu können. Die Kugel *L* ist unten in eine sehr kleine Birne *b* ausgeblasen, welche dazu dient, erstere in einer Fassung *S* aus isolirendem Material, in welches sie eingekittet ist, festzuhalten. Ein dünner von einem Drathe *w* getragener Lampenfaden *f* geht durch den Mittelpunkt der Kugel *L* hindurch. Der Faden wird in dem mittleren Theile, wo das von der unteren Innenfläche der Kugel ausgehende Bombardement am stärksten ist, glühend. Der untere Theil der Kugel, soweit die Fassung *S* reicht, wird entweder durch eine Stanniolbelegung oder in anderer Weise leitend gemacht und die äussere Elektrode wird mit einem Pole der Spule verbunden.

Die in Fig. 153 diagrammatisch dargestellte Anordnung erwies sich zwar als weniger vortheilhaft, wenn man einen im Mittelpunkt der Kugel angebrachten Knopf oder Faden zum Glühen bringen wollte, dieselbe war jedoch zweckmässig, wenn es sich um Phosphorescenzerregung handelte.

Bei manchen Versuchen, bei denen K ö r p e r v e r s c h i e d e n e r A r t in einer Birne beispielsweise von der in Fig. 152 dargestellten Art

angebracht wurden, liessen sich ebenfalls interessante Beobachtungen machen.

Unter Anderm ergab sich, dass in solchen Fällen, gleichgültig wo das Bombardement begann, gleich nach Erreichung einer hohen Temperatur stets der eine der Körper den grössten Theil des Bombardements auf sich zu koncentriren schien, wodurch der andere oder die andern Körper entlastet wurden. Diese Eigenschaft schien hauptsächlich von dem Schmelzpunkt oder von der Leichtigkeit abzuhängen, mit welcher der Körper verdampft oder, allgemein gesprochen, aufgelöst wurde, unter welchem letzteren Ausdruck nicht nur die Lostrennung von Atomen sondern auch grösserer Stücke zu verstehen ist. Die gemachte Beobachtung befand sich in Uebereinstimmung mit den allgemein angenommenen Vorstellungen. In einer sehr stark evakuirten Birne wird die Elektricität von der Elektrode durch unabhängige Träger fortgeführt, die zum Theil die Atome oder Moleküle der zurückgebliebenen Luft und zum Theil die Atome, Moleküle oder Stücke sind, welche von der Elektrode losgerissen werden. Besteht die Elektrode aus Körpern von verschiedener Beschaffenheit und löst sich einer derselben leichter auf als der andere, so wird der grösste Theil der Elektricität von diesem Körper fortgeführt, der dann zu einer höheren Temperatur kommt wie die andern, und zwar um so mehr, da nach einer Erhöhung der Temperatur der Körper sich noch leichter auflöst.

Ich halte es für recht wahrscheinlich, dass ein ähnlicher Vorgang in der Birne auch bei einer homogenen Elektrode stattfindet, und ich glaube, dass er die Hauptursache des Verschleisses ist. Eine gewisse Unregelmässigkeit ist immer vorhanden, auch wenn die Oberfläche gut polirt ist, was natürlich bei den meisten der als Elektroden benutzten feuerbeständigen Körper unmöglich ist. Man nehme an, dass ein Punkt der Elektrode heisser wird, alsdann wird sofort der grösste Theil der Entladung durch diesen Punkt hindurchgehen und ein kleiner Fleck wird wahrscheinlich geschmolzen und verdampft. Es ist nun möglich, dass infolge der heftigen Auflösung der angegriffene Fleck in seiner Temperatur sinkt oder dass eine Gegenkraft erzeugt wird, wie bei einem Lichtbogen; jedenfalls erreicht die lokale Abnutzung eine durch den Versuch bedingte Grenze, worauf derselbe Vorgang an einer andern Stelle sich wiederholt. Dem Auge erscheint die Elektrode gleichmässig hell, aber es giebt auf derselben beständig wechselnde und herumwandernde Punkte, deren Temperatur bedeutend über der mittleren liegt, und dadurch wird der Process der Abnutzung wesentlich beschleunigt. Dass etwas derartiges wirklich eintritt, wenigstens wenn die Elektrode eine geringere

Temperatur besitzt, lässt sich in folgender Weise durch einen Versuch genügend darthun: Man evakuire eine Birne bis zu einem sehr hohen Grade, so dass die Entladung selbst bei ziemlich hoher Spannung nicht hindurchgehen kann — d. h. wenigstens keine leuchtende Entladung, da eine schwache unsichtbare Entladung höchstwahrscheinlich stets stattfindet. Nun steigere man langsam und vorsichtig die Spannung, während der Primärstrom nicht länger als einen Augenblick eingeschaltet wird. Dann werden in einem bestimmten Zeitpunkte zwei, drei oder ein halbes Dutzend phosphorescirende Flecken an der Kugel erscheinen. Diese Stellen des Glases werden offenbar heftiger bombardirt als die andern, und zwar hat dies seinen Grund in der ungleichmässig vertheilten elektrischen Dichtigkeit, die natürlich durch scharfe Vorsprünge oder, allgemein gesprochen, Unregelmässigkeiten der Elektrode veranlasst ist. Die leuchtenden Flecken aber ändern fortwährend ihre Lage, was man besonders gut beobachten kann, wenn man die Sache so einrichtet, dass nur sehr wenige Flecken auftreten, und dies deutet darauf hin, dass die Gestaltung der Elektrode sich rasch ändert.

Durch derartige Erfahrungen wurde ich zu dem Schlusse geführt, dass der feuerbeständige Knopf in der Birne, um möglichst dauerhaft zu sein, die Form einer Kugel mit gut polirter Oberfläche haben müsse. Eine solche kleine Kugel könnte aus einem Diamanten oder einem andern Krystall hergestellt werden, ein besseres Verfahren aber wäre, irgend ein Oxyd, z. B. Zirkonerde, durch Anwendung ausserordentlich hoher Temperaturen in einen kleinen Tropfen zu schmelzen und denselben dann in der Birne auf einer etwas unter seinem Schmelzpunkt liegenden Temperatur zu halten.

Interessante und nützliche Resultate kann man ohne Zweifel nach der Richtung der Erzeugung hoher Wärmegrade erreichen. Wie können wir solche hohen Temperaturen erhalten? Wie werden die höchsten Wärmegrade in der Natur erzeugt? Durch den Zusammenstoss von Sternen, durch hohe Geschwindigkeiten und Kollisionen. Bei einer Kollision kann jeder beliebige Wärmegrad erreicht werden; bei einem chemischen Processe sind wir in dieser Beziehung beschränkt. Wenn sich Sauerstoff und Wasserstoff verbinden, fallen sie, bildlich gesprochen, von einer bestimmten Höhe. Mit einem Gebläse können wir keine sehr hohen Temperaturen erzielen, ebenso wenig durch Koncentration der Wärme in einem Ofen, aber in einer luftleeren Röhre können wir jeden Energiebetrag auf einen kleinen Knopf koncentriren. Lassen wir die praktische Ausführbarkeit ausser Betracht, so würde dies also das Mittel sein, mit dem wir meiner Meinung nach im Stande wären, die

höchsten Temperaturen zu erreichen. Verfährt man aber in dieser Weise, so begegnet man einer grossen Schwierigkeit, nämlich dass der Körper in den meisten Fällen aufgelöst wird, ehe er schmelzen und einen Tropfen bilden kann. Diese Schwierigkeit besteht hauptsächlich bei einem Oxyd, wie z. B. Zirkonerde, weil dasselbe nicht in einen so harten Kuchen zusammengepresst werden kann, dass derselbe nicht rasch aufgelöst werden würde. Ich habe wiederholt versucht, Zirkonerde zu schmelzen, indem ich sie, wie in Fig. 152 ersichtlich, auf die Spitze einer Bogenlichtkohle brachte. Dieselbe glühte mit sehr intensivem weissen Lichte und der Strom der von der Kohlenspitze fortgeschleuderten Theilchen war lebhaft weiss; mochte dieselbe aber zu einem Kuchen gepresst oder mit Kohle zu einem Teige verarbeitet sein, immer wurde sie völlig abgeschleudert, ehe sie geschmolzen werden konnte. Die die Zirkonerde enthaltende Kohlenspitze musste in dem Halse einer weiten Birne sehr niedrig angebracht werden, da die Erhitzung des Glases durch die fortgeschleuderten Theilchen des Oxydes so schnell erfolgte, dass die Birne beim ersten Versuch beinahe augenblicklich zersprang, wenn der Strom eingeschaltet wurde. Die Erhitzung des Glases durch die fortgeschleuderten Partikel erwies sich stets grösser, wenn die Kohlenspitze einen Körper enthielt, der rasch verflüchtigt wurde, vermuthlich weil in solchen Fällen bei gleicher Spannung höhere Geschwindigkeiten erreicht wurden und weil ferner in der Zeiteinheit mehr Materie fortgeschleudert wurde, d. h. mehr Theilchen das Glas trafen.

Die vorher erwähnte Schwierigkeit bestand jedoch nicht, wenn der auf der Kohlenspitze angebrachte Körper in Bezug auf Abnutzung sehr widerstandsfähig war. Wurde z. B. ein Oxyd zuerst in einem Sauerstoffgebläse geschmolzen und dann in der Birne angebracht, so schmolz er sehr leicht zu einem Tropfen.

Im Allgemeinen wurden während des Schmelzprocesses prächtige Lichterscheinungen wahrgenommen, von denen man nur schwer eine richtige Vorstellung geben kann. Fig. 152 soll die mit einem Rubintropfen beobachtete Wirkung veranschaulichen. Zuerst nimmt man einen schmalen gegen den oberen Theil der Kugel geschleuderten Trichter weissen Lichtes wahr, welcher an der betreffenden Stelle der Kugel einen unregelmässig begrenzten phosphorescirenden Fleck erzeugt. Wenn die Rubinspitze schmilzt, so wird die Phosphorescenz sehr stark; da aber die Atome von der Oberfläche des Tropfens mit viel grösserer Geschwindigkeit fortgeschleudert werden, so wird das Glas bald heiss und nun glüht nur der äussere Rand des Fleckes. Auf diese Weise wird eine intensiv phosphorescirende scharf begrenzte Linie l, ent-

sprechend den Umrissen des Tropfens, erzeugt, welche sich, sobald der Tropfen grösser wird, langsam über die Kugel ausbreitet. Beginnt die ganze Masse zu sieden, so bilden sich kleine Blasen und Höhlungen, welche zur Folge haben, dass dunkel gefärbte Flecken über die Kugel huschen. Die Birne kann nach unten gekehrt werden, ohne das Abfallen des Tropfens befürchten zu müssen, da die Masse bedeutende Zähigkeit besitzt.

Ich will hier noch eine andere interessante Eigenthümlichkeit erwähnen, die ich im Verlaufe dieser Versuche bemerkt zu haben glaube, obwohl die Beobachtungen keine völlige Gewissheit ergaben. Es hatte, wenigstens nach der Menge des ausgesandten Lichtes zu urtheilen, den Anschein, als ob der Körper in einer stark evakuirten Birne unter dem durch die rasch wechselnde Spannung verursachten Anprall der Moleküle bei einer niedrigeren Temperatur geschmolzen und in diesem Zustande erhalten wurde, als es bei normalem Drucke und bei Erhitzung in gewöhnlicher Weise der Fall war. Einer der angestellten Versuche möge hier der Erläuterung wegen angeführt werden. Ein kleines Stück Bimsstein wurde auf einen Platindraht gesteckt und zunächst in einem Gasbrenner an ihn angeschmolzen. Der Draht wurde dann zwischen zwei Holzkohlenstücke gelegt und über einen Gasbrenner gehalten, der eine intensive Hitze erzeugte, welche hinreichte, um den Bimsstein zu einem kleinen glasartigen Knopfe zu zerschmelzen. Der Platindraht musste genügend dick genommen werden, damit er nicht selbst in dem Feuer schmolz. Im Holzkohlenfeuer oder, um eine bessere Vorstellung von dem Hitzegrade zu haben, wenn er in einen Gasbrenner gehalten wurde, glühte der Knopf mit beträchtlichem Glanze. Der Draht mit dem Knopf wurde dann in einer Birne angebracht und, nachdem dieselbe in hohem Grade evakuirt worden war, der Strom langsam eingeschaltet, um das Springen des Knopfes zu verhüten. Der Knopf wurde dann bis zum Schmelzpunkt erhitzt; während des Schmelzens glühte er anscheinend nicht mit demselben Glanze wie zuvor, was auf eine niedrigere Temperatur hindeuten würde. Sieht man von einem möglichen und sogar wahrscheinlichen Irrthum des Beobachters ab, so entsteht doch die Frage: Kann ein Körper unter diesen Verhältnissen mit geringerer Lichtentwickelung aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeführt werden?

Wird das Potential eines Körpers rasch alternirt, so wird dadurch sicher die Struktur des Körpers erschüttert. Ist das Potential sehr hoch, während die Zahl der Schwingungen verhältnissmässig gering sein kann, z. B. 20000 in der Sekunde, so kann die Wirkung auf die Struktur er-

heblich sein. Man nehme beispielsweise an, dass ein Rubin unter konstanter Energiezuführung zu einem Tropfen geschmolzen wird. Sobald derselbe einen Tropfen bildet, wird er sichtbare und unsichtbare Wellen aussenden, welche in bestimmtem Verhältniss zu einander stehen werden, und dem Auge wird der Tropfen von bestimmtem Glanze erscheinen. Nun nehmen wir an, dass wir die konstant zugeführte Energie auf einen beliebigen Betrag verringern und statt dessen Energie zuführen, deren Betrag nach einem bestimmten Gesetze steigt und fällt. Wenn jetzt der Tropfen gebildet wird, so wird derselbe drei verschiedene Arten von Schwingungen aussenden — die gewöhnlichen sichtbaren und zwei Arten von unsichtbaren Wellen, nämlich die gewöhnlichen dunklen Wellen aller Längen und ausserdem Wellen von ganz bestimmtem Charakter. Die letzteren würden bei einer konstanten Zuführung der Energie nicht vorhanden sein. Diese tragen aber dazu bei, die Struktur des Körpers zu erschüttern und zu lockern. Wenn dies wirklich der Fall ist, so wird der Rubintropfen verhältnissmässig weniger sichtbare und mehr unsichtbare Wellen aussenden wie zuvor. Es hat also den Anschein, als ob beispielsweise ein Platindraht, wenn er durch ausserordentlich rasch wechselnde Ströme geschmolzen wird, am Schmelzpunkte weniger Licht- und mehr unsichtbare Strahlen aussendet, als es der Fall ist, wenn er durch einen konstanten Strom geschmolzen wird, obwohl die im Schmelzprocess verbrauchte Gesammtenergie in beiden Fällen die gleiche ist. Oder um ein anderes Beispiel anzuführen, ein Glühlampenfaden vermag bei Strömen von ausserordentlich grosser Frequenz nicht ebenso lange auszuhalten als bei konstanten Strömen, vorausgesetzt dass er in beiden Fällen mit gleicher Lichtintensität betrieben wird. Dies weist darauf hin, dass bei rasch wechselnden Strömen der Faden kürzer und dicker sein sollte. Je höher die Frequenz d. h. je grösser die Abweichung von dem konstanten Strome ist, um so schlechter ist es für den Faden. Wenn aber auch die Richtigkeit dieser Bemerkung bewiesen wäre, so wäre es doch irrig zu schliessen, dass ein solcher feuerbeständiger Knopf, wie er in diesen Birnen benutzt wird, durch Ströme von ausserordentlich hoher Frequenz schneller abgenutzt würde als durch Gleichströme oder Ströme niedriger Frequenz. Aus Erfahrung kann ich sagen, dass gerade das Gegentheil richtig ist: der Knopf widersteht dem Bombardement besser bei Strömen sehr hoher Frequenz. Dies rührt jedoch von dem Umstande her, dass eine Hochfrequenz-Entladung durch ein verdünntes Gas weit freier hindurchgeht als eine Gleichstromentladung oder eine solche geringer Frequenz, und dies bedeutet, dass wir bei ersterer mit niedrigerer Spannung oder mit weniger heftigen Zusammenstössen

arbeiten können. So lange also das Gas keine Wirkung ausübt, ist ein konstanter Strom oder ein Strom von niedriger Frequenz besser; sobald aber die Wirkung des Gases gewünscht wird und von Bedeutung ist, sind hohe Frequenzen vorzuziehen.

Im Verlaufe dieser Versuche wurden Kohlenknöpfe aller Arten probirt. Elektroden, die aus Knöpfen gewöhnlicher Kohle bestanden, waren entschieden dauerhafter, wenn die Knöpfe unter Anwendung enormen Druckes hergestellt waren. Elektroden, die in bekannter Weise durch Kohlenniederschlag bereitet waren, bewährten sich nicht; sie schwärzten die Glaskugel sehr schnell. Aus vielen Erfahrungen folgerte ich, dass in dieser Weise hergestellte Lampenfäden nur bei Strömen niedriger Spannung und niedriger Frequenz mit Vortheil verwendet werden können. Einige Arten von Kohlen widerstanden so gut, dass man, um dieselben bis zum Schmelzpunkt zu bringen, sehr kleine Knöpfe anwenden musste. In diesem Falle war die Beobachtung wegen der erzeugten intensiven Hitze sehr erschwert. Trotzdem kann kein Zweifel bestehen, dass alle Arten von Kohle unter dem Bombardement der Moleküle geschmolzen werden; aber der flüssige Zustand muss von grosser Unbeständigkeit sein. Von allen untersuchten Körpern widerstanden zwei am besten — Diamant und Carborundum. Diese beiden verhielten sich ungefähr in gleicher Weise, jedoch war das letztere aus manchen Gründen vorzuziehen. Da dieser Körper höchstwahrscheinlich noch nicht allgemein bekannt ist, so sei es mir gestattet, Ihre Aufmerksamkeit auf denselben zu lenken.

Der Körper ist kürzlich von Herrn E. G. Acheson in Monongahela City, Pa., hergestellt worden. Derselbe ist bestimmt, gewöhnliches Diamantpulver zum Schleifen von Edelsteinen u. s. w. zu ersetzen, und diesen Zweck erfüllt er, wie ich erfahre, sehr gut. Warum ihm der Name „Carborundum“ gegeben ist, weiss ich nicht, es müsste denn in seiner Herstellungsweise etwas liegen, was die Wahl dieses Namens rechtfertigt. Durch die Güte des Erfinders erhielt ich vor kurzem einige Proben, die ich hinsichtlich ihrer Phosphorescenzeigenschaften und hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen hohe Wärmegrade untersuchen wollte.

Carborundum kann in zwei Formen erhalten werden, in der Form von Krystallen und als Pulver. Die ersteren erscheinen dem blossen Auge dunkel gefärbt, haben aber grossen Glanz. Das letztere hat beinahe dieselbe Farbe wie gewöhnliches Diamantpulver, ist aber sehr viel feiner. Unterm Mikroskop betrachtet, schienen die mir gegebenen Proben keine bestimmte Gestalt zu haben, sondern glichen etwas zerstossenen Nusskohlen feiner Qualität. Die Mehrzahl war dunkel, einige aber waren

durchsichtig und farbig. Die Krystalle sind eine Art Kohle, die gewisse Unreinigkeiten enthält; dieselben sind äusserst hart und widerstehen lange Zeit selbst dem Sauerstoffgebläse. Wenn man das Gebläse gegen sie richtet, so bilden sie zunächst einen ziemlich kompakten Teig, wahrscheinlich infolge der Schmelzung der in ihnen enthaltenen Unreinigkeiten. Die Masse widersteht dann der Einwirkung des Gebläses ziemlich lange ohne weitere Schmelzung; es tritt aber eine langsame Verflüchtigung oder Verbrennung ein und schliesslich bleibt ein kleiner glasartiger Rückstand übrig, der, wie ich glaube, geschmolzenes Aluminium ist. Wird die Masse stark gepresst, so leitet sie recht gut, aber nicht so gut wie gewöhnliche Kohle. Das aus den Krystallen auf irgend eine Weise erhaltene Pulver ist praktisch nichtleitend. Es liefert ein prächtiges Schleifmaterial für Edelsteine.

Die Zeit war zu kurz, um eine eingehende Untersuchung der Eigenschaften dieses Erzeugnisses anzustellen, doch habe ich in den wenigen Wochen, seit ich mit demselben experimentirte, hinreichende Erfahrungen gesammelt, um behaupten zu können, dass dasselbe in vielen Beziehungen bemerkenswerthe Eigenschaften besitzt. Es widersteht ausserordentlich hohen Hitzegraden, wird durch molekulares Bombardement nur wenig abgenutzt und schwärzt die Glaskugel nicht, wie gewöhnliche Kohle. Die einzige Schwierigkeit, die ich bei der Verwendung desselben gelegentlich dieser Versuche erfahren habe, bestand darin, irgend ein Bindemittel zu finden, welches der Hitze und der Wirkung des Bombardements ebenso erfolgreich zu widerstehen vermag, wie Carborundum selbst.

Ich habe hier eine Anzahl Glasbirnen, die ich mit Knöpfen aus Carborundum versehen habe. Um einen solchen Knopf aus Carborundumkrystallen herzustellen, verfahre ich folgendermassen: Ich nehme einen gewöhnlichen Lampenfaden und tauche seine Spitze in Theer oder irgend eine andere dickflüssige Substanz oder Farbe, die sich leicht karbonisiren lässt. Ich ziehe dann die Spitze des Fadens durch die Krystalle hindurch und halte sie darauf vertikal über eine heisse Platte. Der Theer wird weich und bildet einen Tropfen an der Spitze des Fadens, während die Krystalle an der Oberfläche des Tropfens anhaften. Durch Regulirung der Entfernung von der Platte trocknet der Theer langsam aus und der Knopf wird fest. Ich tauche dann den Knopf nochmals in Theer und halte ihn wieder über die Platte, bis der Theer verdampft ist und nur eine harte Masse übrig bleibt, welche die Krystalle fest bindet. Ist ein grösserer Knopf erforderlich, so wiederhole ich das Verfahren einige Male und bedecke den Faden auch bis zu einer gewissen Entfernung unterhalb des Knopfes mit Krystallen. Ist der Knopf in einer Birne

angebracht und ein gutes Vakuum erreicht, so wird zuerst eine schwache und dann eine starke Entladung durch die Birne hindurchgeschickt, um den Theer zu karbonisiren und alle Gase auszutreiben, und später wird der Knopf zu einem sehr intensiven Glühen gebracht.

Bei Verwendung von Pulver fand ich es vortheilhaft, in folgender Weise zu verfahren. Ich mache einen dicken Teig aus Carborundum und Theer und ziehe einen Lampenfaden durch den Teig. Nachdem ich dann durch Reiben des Fadens mit einem Stück Ziegenleder den grössten Theil des Teiges abgewischt habe, halte ich den Faden über eine heisse Platte, bis der Theer verdampft und die Bekleidung fest wird. Dieses Verfahren wiederhole ich so oft, als es nöthig ist, um eine gewisse Dicke der Bekleidung zu erhalten. An der Spitze des so bedeckten Fadens bilde ich dann einen Knopf in der gleichen Weise.

Darüber, dass ein solcher unter grossem Drucke passend hergestellter Knopf aus Carborundum, besonders aus Pulver bester Qualität, der Wirkung des Bombardements so gut wie irgend ein anderes bekanntes Material widersteht, besteht kein Zweifel; die Schwierigkeit ist nur, dass das Bindemittel sich verflüchtigt und daher das Carborundum nach einiger Zeit abfällt. Da es dem Anschein nach die Lampenkugel nicht im mindesten schwärzt, so dürfte es zur Bedeckung der Fäden gewöhnlicher Glühlampen nützliche Verwendung finden, und, wie ich glaube, würde es auch möglich sein, dünne Fäden oder Stücke von Carborundum herzustellen, welche die gewöhnlichen Fäden in einer Glühlampe ersetzen können. Eine Carborundumbekleidung scheint dauerhafter zu sein wie andere Bekleidungen, nicht allein weil sie hohen Hitzegraden zu widerstehen vermag, sondern weil sie sich auch besser mit der Kohle zu verbinden scheint, als irgend ein anderes Material, welches von mir probirt wurde. Eine Bekleidung aus Zirkonerde z. B. oder irgend einem andern Oxyd wird weit schneller zerstört. Ich stellte Knöpfe aus Diamantstaub in derselben Weise wie aus Carborundum her; diese kamen zwar, was Dauerhaftigkeit betrifft, den aus Carborundum bereiteten am nächsten, aber der Bindeteig wurde in den Diamantknöpfen weit schneller verflüchtigt; ich schrieb dies jedoch der Grösse und der Unregelmässigkeit der Diamantkörner zu.

Es war von Interesse zu untersuchen, ob Carborundum die Eigenschaft der Phosphorescenz besitzt. Dabei musste man natürlich auf zwei Schwierigkeiten gefasst sein; erstens nämlich ist das Rohprodukt, die Krystalle, ein guter Leiter und es ist bekannt, dass Leiter nicht phosphoresciren; zweitens würde das Pulver, da es ausserordentlich fein ist, nicht geeignet sein, um diese Eigenschaft in hervorragendem Maasse zu

zeigen, da bekanntlich Krystalle, wie z. B. Diamant oder Rubin, wenn sie fein pulverisirt werden, die Eigenschaft der Phosphorescenz in erheblichem Grade verlieren.

Hier erhebt sich daher die Frage: Kann ein Leiter phosphoresciren? Was giebt es in einem solchen Körper wie z. B. einem Metall, das ihm die Fähigkeit nimmt zu phosphoresciren, wofern es diese Eigenschaft, nicht zu phosphoresciren, ist, die ihn als Leiter charakterisirt? Denn es ist eine Thatsache, dass die meisten phosphorescirenden Körper diese Eigenschaft verlieren, wenn sie genügend erwärmt und dadurch mehr oder weniger leitend werden. Wenn daher umgekehrt ein Metall in erheblichem Maasse oder vielleicht ganz und gar der Leitungsfähigkeit beraubt würde, so müsste es phosphorescenzfähig werden. Es ist mithin vollkommen möglich, dass ein Metall oder irgend ein anderer Leiter bei einer ausserordentlich hohen Frequenz, wo sie sich praktisch wie Nichtleiter verhalten, die Eigenschaft der Phosphorescenz besitzen könnten, obwohl sie ganz und gar unfähig sein würden, unter dem Anprall einer Entladung von niedriger Frequenz zu phosphoresciren. Aber es ist noch eine andere Möglichkeit vorhanden, warum ein Leiter mindestens scheinbar phosphoresciren könnte.

Es herrscht noch beträchtlicher Zweifel darüber, was Phosphorescenz eigentlich ist und ob die verschiedenen unter diesem Namen zusammengefassten Erscheinungen von denselben Ursachen herrühren. Angenommen, die Oberfläche eines Metallstückes oder eines andern Leiters werde in einer evakuirten Glasbirne unter dem Anprall der Moleküle stark leuchtend, bleibe aber gleichzeitig verhältnissmässig kalt, würde man dieses Leuchten nicht Phosphorescenz nennen? Nun ist aber ein solches Resultat, mindestens theoretisch, möglich, denn es ist eine blosse Frage der Spannung oder der Geschwindigkeit. Angenommen, das Potential der Elektrode und demgemäss die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Atome sei genügend hoch, so würde die Oberfläche des Metallstückes, gegen welches die Atome geschleudert werden, stark glühend werden, da der Process der Wärmeerzeugung unvergleichlich schneller vor sich gehen würde als derjenige der Strahlung oder Fortleitung von der Kollisionsfläche. Im Auge des Beobachters würde ein einziger Anprall der Atome einen augenblicklichen Blitz hervorbringen; würden die Stösse aber mit hinreichender Schnelligkeit wiederholt, so würden sie einen kontinuirlichen Eindruck auf seiner Netzhaut hervorbringen. Es würde ihm dann die Oberfläche des Metalls kontinuirlich glühend und von konstanter Lichtintensität erscheinen, während in Wirklichkeit das Licht entweder intermittirend oder doch mindestens in der Intensität periodisch wech-

selnd sein würde. Die Temperatur des Metallstückes würde steigen, bis das Gleichgewicht erreicht ist, d. h. bis die kontinuirlich ausgestrahlte Energie gleich der intermittirend zugeführten sein würde. Die zugeführte Energie könnte aber unter derartigen Verhältnissen möglicher Weise nicht ausreichen, um den Körper zu einer mehr als sehr mässigen mittleren Temperatur zu bringen, besonders wenn die Frequenz der Stösse der Atome sehr niedrig, jedoch hoch genug ist, dass das Auge die Schwankungen der Intensität des ausgesandten Lichtes nicht wahrnehmen kann. Der Körper würde dann infolge der Art der Zuführung der Energie ein starkes Licht aussenden und doch nur eine verhältnissmässig sehr niedrige Temperatur besitzen. Wie soll der Beobachter das auf diese Weise erzeugte Leuchten nennen? Selbst wenn die Analyse des Lichtes ihm bestimmte Aufschlüsse geben sollte, würde er dasselbe doch wahrscheinlich zu den Phosphorescenzerscheinungen rechnen. Es ist denkbar, dass auf solche Weise sowohl leitende wie nichtleitende Körper bei einer gewissen Lichtintensität erhalten werden könnten, dass aber die dazu erforderliche Energie mit der Beschaffenheit und den Eigenschaften der Körper sehr bedeutend variiren würde.

Diese und einige der vorhergehenden Bemerkungen spekulativer Art wurden nur gemacht, um merkwürdige Eigenthümlichkeiten der Wechselströme oder elektrischen Impulse darzulegen. Mit Hülfe derselben können wir bewirken, dass ein Körper bei einer gewissen mittleren Temperatur mehr Licht aussendet, als er aussenden würde, wenn er durch eine konstante Energiezufuhr auf jene Temperatur gebracht würde; und umgekehrt können wir einen Körper bis zum Schmelzpunkt erhitzen und trotzdem kann er weniger Licht aussenden, als wenn er durch die Zuführung der Energie in gewöhnlicher Weise geschmolzen würde. Es hängt alles ab von der Art, wie die Energiezufuhr erfolgt, und was für Schwingungen erzeugt werden; in dem einen Falle sind die Schwingungen mehr, in dem andern weniger geeignet, unsern Gesichtssinn zu afficiren.

Einige der bei den ersten Versuchen mit Carborundum erzielten Wirkungen, die ich früher nicht beobachtet hatte, schrieb ich der Phosphorescenz zu, bei späteren Versuchen aber ergab sich, dass das Carborundum diese Eigenschaft nicht besitzt. Die Krystalle besitzen eine bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit. In einer Birne, die mit einer einzigen Elektrode, in Form einer kleinen kreisförmigen Metallscheibe z. B., versehen ist, wird bei einem gewissen Grade der Luftverdünnung die Elektrode mit einer milchfarbigen Haut bedeckt, die von dem die Birne erfüllenden Glühlicht durch einen dunklen Raum getrennt ist. Wird die Metallscheibe mit Carborundumkrystallen bedeckt, so ist die Haut weit

intensiver und schneeweiss. Dies ist, wie ich später fand, nur eine Wirkung der glänzenden Oberfläche der Krystalle, denn eine gut polirte Aluminiumelektrode zeigte mehr oder weniger dieselbe Erscheinung. Ich habe mit den erhaltenen Krystallproben eine Anzahl Versuche angestellt, hauptsächlich weil es von besonderem Interesse gewesen wäre zu konstatiren, ob sie trotz ihres Leitungsvermögens phosphorescenzfähig sind. Ich konnte keine deutliche Phosphorescenz hervorbringen, doch muss ich bemerken, dass man sich hierüber eine entschiedene Ansicht nicht bilden kann, ehe nicht andere Experimentatoren auf demselben Felde gearbeitet haben.

Das Pulver verhielt sich in einigen Versuchen so, als ob es Aluminium enthielte; jedoch zeigte es das Roth des letzteren nicht mit genügender Deutlichkeit. Seine stumpfe Farbe wurde unter dem Anprall der Moleküle äusserst glänzend, doch bin ich jetzt überzeugt, dass es nicht phosphorescirt. Indessen sind die Versuche mit dem Pulver nicht entscheidend, weil pulverisirtes Carborundum sich wahrscheinlich nicht so verhält wie beispielsweise ein phosphorescirendes Sulphid, welches fein gepulvert werden könnte, ohne an Phosphorescenz einzubüssen, sondern eher wie pulverisirter Rubin oder Diamant; um daher einen entscheidenden Versuch zu machen, würde es nothwendig sein, dasselbe in einem grossen Klumpen zu erhalten und seine Oberfläche zu poliren.

Erweist sich auch das Carborundum bei diesen und ähnlichen Versuchen als nützlich, so liegt sein Hauptwerth doch darin, dass man aus ihm Belegungen, dünne Leiter, Knöpfe oder andere Elektroden herstellen kann, die ausserordentlich hohen Hitzegraden zu widerstehen vermögen.

Die Herstellung einer kleinen Elektrode, die fähig ist, enormen Temperaturen zu widerstehen, betrachte ich als einen Punkt von der grössten Wichtigkeit für die Beleuchtungsindustrie. Mittels derselben würde man mit Hülfe von Strömen hoher Frequenz mit demselben Energieaufwande zwanzig — wenn nicht mehr — mal so viel Licht erhalten können, als man mit der jetzigen Glühlampe erhält. Diese Schätzung könnte manchem exaltirt erscheinen, doch ist sie das in Wirklichkeit meiner Ansicht nach durchaus nicht. Da diese Behauptung vielleicht missverstanden werden könnte, so halte ich es für nothwendig, die Aufgabe, um die es sich bei Arbeiten in dieser Richtung handelt, klarzulegen und die Art und Weise anzudeuten, wie man meiner Meinung nach zu einer Lösung kommen kann.

Jeder, der sich an ein Studium des Problems heranwagt, wird geneigt sein zu glauben, dass das, worauf es bei einer Lampe mit einer

Elektrode ankommt, ein sehr hoher Glühgrad der Elektrode ist. Hierin täuscht er sich aber. Das hohe Glühen des Knopfes ist ein nothwendiges Uebel, vielmehr ist das, worauf es in Wirklichkeit ankommt, das starke Glühen des den Knopf umgebenden Gases. Mit andern Worten, die Aufgabe bei einer solchen Lampe besteht darin, eine Gasmasse zum höchstmöglichen Glühen zu bringen. Je höher die Gluth, je schneller die mittlere Schwingung ist, um so grösser ist die Oekonomie der Lichtproduktion. Um aber eine Gasmasse in einem Glasgefäss auf einem hohen Glühgrade zu erhalten, wird es stets nothwendig sein, die glühende Masse von dem Glase entfernt zu halten, d. h. sie so viel wie möglich auf den mittleren Theil der Kugel zu beschränken.

Bei einem der Versuche heute Abend wurde ein Lichtbüschel am Ende eines Drahtes erzeugt. Das Büschel war eine Flamme, eine Quelle von Wärme und Licht. Sie sandte keine besonders merkliche Wärme aus, noch glühte sie in intensivem Lichte; soll sie aber deshalb weniger eine Flamme sein, weil sie meine Hand nicht verbrannte? Ist sie deshalb weniger eine Flamme, weil sie meine Augen durch ihren Glanz nicht blendete? Die Aufgabe besteht eben darin, in der Birne eine solche Flamme zu erzeugen, die ihrem Umfange nach viel kleiner, aber unvergleichlich intensiver ist. Wären Mittel zur Verfügung, um elektrische Impulse von genügend hoher Frequenz hervorzubringen und zu übertragen, so könnte man die Birne ganz weglassen, wenn sie nicht gebraucht würde, um die Elektrode zu schützen oder um durch Koncentrirung der Wärme an Energie zu sparen. Da aber solche Mittel nicht zur Verfügung stehen, so müssen wir die Elektrode in der Birne anbringen und die Luft in derselben verdünnen. Es geschieht dies bloss, damit der Apparat die Arbeit leisten könne, die er bei gewöhnlichem Luftdrucke nicht zu leisten im Stande ist. In der Birne können wir die Wirkung beliebig verstärken, so weit, dass das Büschel ein kräftiges Licht aussendet.

Die Intensität des ausgesandten Lichtes hängt hauptsächlich von der Frequenz und Spannung der Impulse und von der elektrischen Dichte an der Oberfläche der Elektrode ab. Es ist von der grössten Wichtigkeit, den kleinstmöglichen Knopf anzuwenden, um die Dichtigkeit recht weit zu treiben. Unter dem heftigen Anprall der Moleküle des umgebenden Gases wird natürlich die kleine Elektrode zu einer ausserordentlich hohen Temperatur gebracht, aber um dieselbe herum befindet sich eine hochglühende Gasmasse, eine Flammenphotosphäre, deren Volumen viele hundert Mal so gross ist als das der Elektrode. Bei einem Knopfe aus Diamant, Carborundum oder Zirkonerde kann die

Photosphäre das Tausendfache des Volumens des Knopfes haben. Bei oberflächlichem Nachdenken würde man glauben, dass die Elektrode, wenn die Gluth derselben so weit getrieben würde, sofort verflüchtigt werden müsste. Nach sorgfältiger Ueberlegung aber findet man, dass dies, theoretisch, nicht stattfinden könnte, und in dieser Thatsache, welche überdies experimentell erwiesen ist, liegt hauptsächlich der künftige Werth einer solchen Lampe.

Am Anfang, wo das Bombardement beginnt, wird der grösste Theil der Arbeit an der Oberfläche des Knopfes geleistet; sobald aber eine gut leitende Photosphäre gebildet ist, wird der Knopf verhältnissmässig entlastet. Je stärker das Glühen der Photosphäre ist, um so mehr nähert sich ihre Leitungsfähigkeit derjenigen der Elektrode, um so mehr bilden daher der feste Körper und das Gas einen einzigen leitenden Körper. Die Folge davon ist, dass, je weiter das Glühen getrieben wird, um so mehr Arbeit verhältnissmässig an dem Gase und um so weniger an der Elektrode geleistet wird. Die Bildung einer mächtigen Photosphäre ist infolgedessen gerade das Mittel, um die Elektrode zu schützen. Dieser Schutz ist natürlich ein relativer, und man darf nicht glauben, dass durch Höhertreiben des Glühens die Elektrode thatsächlich weniger abgenutzt werden würde. Dennoch muss theoretisch bei ausserordentlich hohen Frequenzen dieses Resultat erreicht werden, aber wahrscheinlich bei einer Temperatur, die für die meisten bekannten feuerfesten Körper viel zu hoch ist. Gäbe es eine Elektrode, welche bis zu einer sehr hohen Grenze die Wirkung des Bombardements und der Spannung auszuhalten vermöchte, so würde sie unversehrt bleiben, wie weit sie auch über diese Grenze beansprucht würde. Bei einer gewöhnlichen Glühlampe finden ganz verschiedene Betrachtungen Anwendung. Hier kommt das Gas überhaupt nicht in Betracht; die ganze Arbeit wird an dem Faden geleistet und die Lebensdauer der Lampe nimmt mit der Erhöhung des Glühgrades so rasch ab, dass wir sie aus ökonomischen Gründen mit geringem Glühgrad betreiben müssen. Wird aber eine Glühlampe mit Strömen von sehr hoher Frequenz betrieben, so darf die Wirkung des Gases nicht vernachlässigt und die Regeln für den ökonomischsten Betrieb müssen erheblich modificirt werden.

Um eine möglichst vollkommene Lampe dieser Art mit einer oder zwei Elektroden zu erhalten, muss man Stromimpulse von sehr hoher Frequenz anwenden. Die hohe Frequenz bedingt unter andern zwei Hauptvortheile, welche für die Oekonomie der Lichterzeugung von wesentlichster Bedeutung sind. Zunächst wird die Abnutzung der Elektrode infolge des Umstandes vermindert, dass man eine sehr grosse An-

zahl kleiner Stösse anstatt weniger heftiger Stösse, welche die Struktur schneller zertrümmern, verwendet; zweitens wird die Bildung einer grossen Photosphäre erleichtert.

Um die Abnutzung der Elektrode auf ein Minimum zu reduciren, ist es erwünscht, dass die Schwingungen harmonisch seien, denn jeder Ruck beschleunigt den Zerstörungsprocess. Eine Elektrode dauert viel länger, wenn sie durch Ströme oder Stromimpulse von einer Wechselstrommaschine von hoher Frequenz, welche mehr oder weniger harmonisch steigen und fallen, als wenn sie mittels der von einer disruptiven Entladungsspule erzeugten Stromimpulse im Glühen erhalten wird. Im letzteren Falle rührt die Beschädigung zweifellos zum grössten Theile von den fundamentalen plötzlichen Entladungen her.

Eine der Verlustursachen bei einer solchen Lampe ist das Bombardement der Glaskugel. Sobald die Spannung sehr hoch ist, werden die Moleküle mit grosser Geschwindigkeit fortgeschleudert; sie treffen das Glas und erzeugen in der Regel eine starke Phosphorescenz. Die hervorgebrachte Wirkung ist recht hübsch, aber aus ökonomischen Gründen würde es vielleicht besser sein, das Bombardement gegen die Glaskugel zu verhindern oder mindestens auf ein Minimum zu reduciren, da es in solchem Falle gewöhnlich nicht beabsichtigt ist, Phosphorescenz zu erregen, und da gewisse Energieverluste aus dem Bombardement sich ergeben. Dieser Verlust in der Birne hängt hauptsächlich ab von der Spannung der Impulse und von der elektrischen Dichte an der Oberfläche der Elektrode. Durch Anwendung sehr hoher Frequenzen wird der Verlust durch das Bombardement erheblich reducirt, denn erstens ist die zur Verrichtung einer gegebenen Arbeitsmenge erforderliche Spannung viel kleiner, und zweitens wird durch Erzeugung einer gut leitenden Photosphäre um die Elektrode dasselbe Resultat erreicht, als ob die Elektrode viel grösser wäre, was einer geringeren elektrischen Dichte äquivalent ist. Mag nun aber die Maximalspannung oder die Dichtigkeit vermindert werden, jedenfalls wird der Gewinn in derselben Weise erzielt, nämlich durch Vermeidung der heftigen Stösse, welche das Glas über die Elasticitätsgrenze hinaus beanspruchen. Könnte die Frequenz genügend hoch getrieben werden, so würde der von der unvollkommenen Elasticität des Glases herrührende Verlust ganz zu vernachlässigen sein.

Der von dem Bombardement der Glaskugel herrührende Verlust kann allerdings durch Benutzung zweier Elektroden anstatt einer verringert werden. In solchem Falle kann jede der Elektroden mit je einer der Klemmen verbunden werden, oder wenn man lieber nur

einen Zuleitungsdraht benutzen will, so kann man die eine Elektrode mit der einen Klemme und die andere mit der Erde oder einem isolirten Körper von grosser Oberfläche wie z. B. mit einem Lampenschirm verbinden. Im letzteren Falle könnte, wenn man nicht die Oberfläche des isolirten Körpers in geeigneter Weise wählt, die eine Elektrode intensiver glühen als die andere.

Im Allgemeinen aber finde ich es bei Benutzung so hoher Frequenzen vortheilhafter, nur eine Elektrode und nur einen Verbindungsdraht zu verwenden. Ich bin überzeugt, dass der Beleuchtungskörper der Zukunft zu seinem Betriebe nicht mehr als eine Leitung erfordern und jedenfalls keinen Einführungsdraht besitzen wird, da die erforderliche Energie so gut durch das Glas hindurch übertragen werden kann. Bei den Versuchsbirnen ist der Einführungsdraht im Allgemeinen aus Bequemlichkeit nicht benutzt worden, da es bei Anwendung von Kondensatorbelegungen, beispielsweise in der in Fig. 151 angedeuteten Weise, einige Schwierigkeiten macht, die Theile passend aneinanderzufügen; doch würden diese Schwierigkeiten wegfallen, wenn die Birnen im Grossen fabricirt würden; sonst kann aber die Energie durch das Glas ebenso gut zugeführt werden wie durch einen Draht und die Verluste sind bei diesen hohen Frequenzen sehr gering. Solche Versuchsapparate erfordern nothwendig die Anwendung sehr hoher Spannungen, was in den Augen der Praktiker ein Grund des Anstosses sein könnte. Und doch sind hohe Spannungen in Wirklichkeit ganz unbedenklich, jedenfalls, soweit die Sicherheit der Apparate dabei in Frage kommt.

Um einen elektrischen Apparat zu sichern, giebt es zwei Wege, von denen der eine in der Verwendung niedriger Spannungen, der andere in einer solchen Wahl der Dimensionen des Apparates besteht, dass derselbe gesichert ist, wie hoch auch die benutzte Spannung sein möge. Von diesen beiden Wegen scheint mir der letztere der bessere zu sein, da in diesem Falle die Sicherheit eine absolute und unabhänig ist von jeder möglichen Kombination von Umständen, welche auch einen Niederspannungapparat für Leben und Eigenthum gefährlich machen könnten. Die praktischen Verhältnisse erfordern aber nicht nur eine zweckmässige Wahl der Dimensionen des Apparates, sondern machen auch die Verwendung von Energie passender Art nothwendig. Es ist z. B. leicht, einen Transformator herzustellen, der, von einer gewöhnlichen Wechselstrommaschine niedriger Spannung betrieben, 50 000 Volt zu geben vermöchte, die zur Beleuchtung einer hoch evakuirten phosphorescirenden Röhre etwa erforderlich sein würden, und zwar so, dass derselbe trotz der hohen Spannung vollkommen sicher ist und ein Schlag

von ihm keine Unannehmlichkeit verursacht. Dennoch aber würde ein solcher Transformator ziemlich kostspielig und an und für sich unwirksam sein, und die von ihm erhaltene Energie, welcher Art sie auch sein möge, würde man zur Lichterzeugung nicht ökonomisch verwerthen können. Die Oekonomie erfordert die Verwendung von Energie in der Form ausserordentlich rascher Schwingungen. Das Problem der Lichterzeugung ist mit dem der Unterhaltung eines bestimmten hohen Tones mittels einer Klingel verglichen worden. Man müsste sagen, mit einem kaum hörbaren Ton, und auch diese Worte würden die Sache nicht richtig ausdrücken, so wunderbar empfindlich ist das Auge. Wir können kräftige Schläge in langen Zwischenräumen ausführen und ein gut Theil Energie vergeuden und doch nicht erreichen, was wir wünschen; oder wir können den Ton durch Ausführung vieler kleiner Schläge hervorbringen und werden dem gesuchten Ziele durch Aufwendung von viel weniger Energie weit näher kommen. Bei der Lichterzeugung, soweit die Beleuchtungsgegenstände in Betracht kommen, kann es nur eine Richtschnur geben, nämlich so hohe Frequenzen zu benutzen, als man überhaupt erzeugen kann; aber die Hülfsmittel zur Erzeugung und Fortleitung derartiger Stromimpulse legen einem, wenigstens zur Zeit noch, grosse Beschränkungen auf. Hat man sich einmal entschieden, hohe Frequenzen zu benutzen, so wird der Rückleitungsdraht überflüssig und alle Apparate werden einfacher. Durch Anwendung naheliegender Hülfsmittel erzielt man dasselbe Resultat, als ob der Rückleitungsdraht verwendet würde. Man braucht zu diesem Zwecke nur einen isolirten Körper von gewisser Oberfläche mit der Lampenbirne in Berührung oder auch nur in die Nähe der letzteren zu bringen. Die Oberfläche darf natürlich um so kleiner sein, je höher die benutzte Frequenz und Spannung und nothwendigerweise auch je höher die Oekonomie der Lampe oder jedes andern Apparates ist.

Zu dieser Art des Betriebes habe ich bei mehreren Gelegenheiten heute Abend meine Zuflucht genommen. So diente z. B. in dem Falle, wo das Glühen eines Knopfes durch Indiehandnehmen der Lampenbirne hervorgebracht wurde, der Körper des Experimentators nur zur Verstärkung der Wirkung. Die benutzte Birne war der in Fig. 148 dargestellten ähnlich und die Spule wurde zu einer geringen Spannung erregt, die nicht ausreichte, um den Knopf zum Glühen zu bringen, wenn die Birne an dem Drahte hing; gelegentlich wurde auch, um den Versuch in geeigneterer Weise ausführen zu können, der Knopf so gross genommen, dass eine merkliche Zeit verfloss, ehe die Birne, nachdem sie in die Hand genommen, glühend wurde. Die Berührung der Birne

war natürlich durchaus unnöthig. Man kann leicht durch Benutzung einer ziemlich grossen Birne mit einer ausserordentlich kleinen Elektrode die Verhältnisse so reguliren, dass die letztere durch die blosse Annäherung des Experimentators bis auf einige Fuss zum hellen Glühen kommt und dass das Glühen beim Zurücktreten desselben wieder nachlässt.

Bei einem anderen Versuche, bei welchem Phosphorescenz erregt wurde, kam eine ähnliche Birne zur Verwendung. Auch hier war ur-

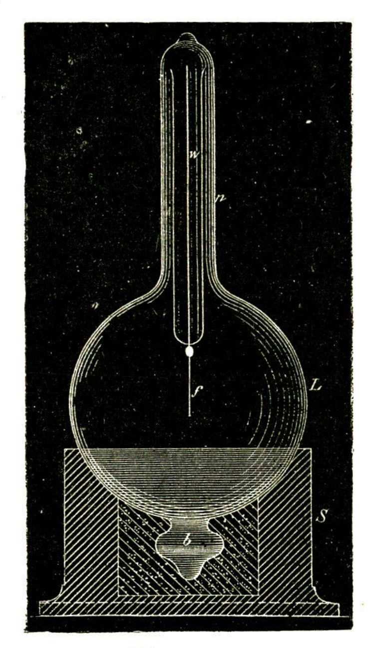


Fig. 153.

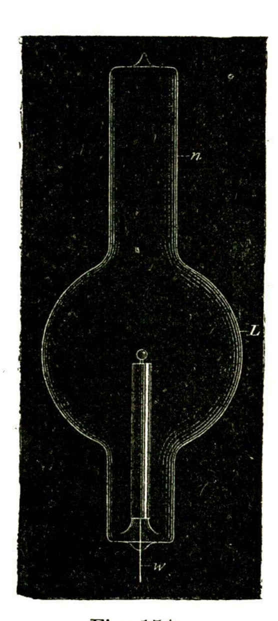


Fig. 154.

sprünglich die Spannung zur Erregung der Phosphorescenz nicht ausreichend, bis die Wirkung durch Berührung des Lampensockels mit einem in der Hand gehaltenen metallischen Gegenstande verstärkt wurde, — in diesem Falle jedoch, um eine andere Eigenthümlichkeit zu zeigen. Die Elektrode in der Birne war ein Kohlenknopf von solcher Grösse, dass derselbe nicht zum Glühen gebracht werden konnte, weshalb die durch Phosphorescenz erzeugte Wirkung nicht zur Geltung kam.

Bei einem andern der früheren Versuche wieder wurde eine Birne von der in Fig. 141 dargestellten Art benutzt. In diesem Falle wurden durch Berührung der Birne mit einem oder zwei Fingern ein oder zwei Schatten des Stieles im Innern auf das Glas geworfen, wobei die Be-

rührung des Fingers dieselben Resultate hervorbrachte, wie unter gewöhnlichen Umständen die Anbringung einer äusseren negativen Elektrode.

Bei allen diesen Versuchen wurde die Wirkung durch Vergrösserung der Kapacität am Ende der mit der Klemme verbundenen Leitung verstärkt. In der Regel braucht man zu solchen Mitteln nicht zu greifen und bei noch höheren Frequenzen wäre das ganz überflüssig; wird es aber gewünscht, so lässt sich die Birne oder Röhre leicht dem Zwecke anpassen.

In Fig. 153 z. B. ist eine Versuchsbirne L dargestellt, die oben behufs Anbringung einer äusseren Stanniolbelegung, die mit einem Körper von grösserer Oberfläche verbunden werden kann, mit einem Halse n versehen ist. Eine Lampe von der in Fig. 154 dargestellten Art kann ferner zum Leuchten gebracht werden, indem man die Stanniolbelegung am Halse n mit der Klemme und den Einführungsdraht w mit einer isolirten Platte verbindet. Wenn die Birne, wie aus der Abbildung ersichtlich, in einer Fassung aufrecht steht, so kann auf den Hals n ein Schirm aus leitendem Material gesteckt werden, wodurch die Wirkung verstärkt wird.

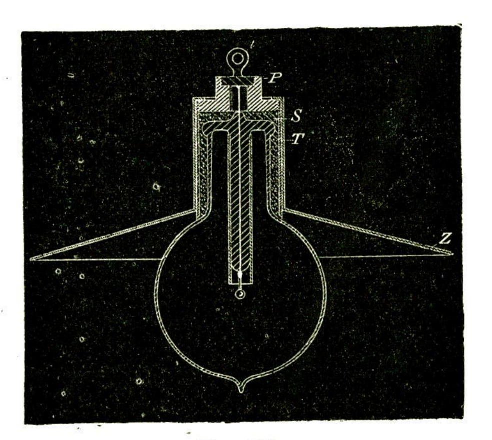


Fig. 155.

Eine vollkommenere Anordnung, welche bei einigen dieser Birnen benutzt wurde, ist in Fig. 155 dargestellt. In diesem Falle ist die Konstruktion der Birne die oben unter Hinweis auf Fig. 148 beschriebene. Ein Zinkblech Z mit einer röhrenförmigen Erweiterung T ist über der Metallfassung S angebracht. Die Birne hängt von der Klemme t herab und das Zinkblech Z spielt die doppelte Rolle eines Verstärkers und Reflektors. Der Reflektor ist von der Klemme t durch einen Ansatz an dem isolirenden Stöpsel P getrennt.

Eine ähnliche Anordnung bei einer phosphorescirenden Röhre ist in Fig. 156 dargestellt. Die Röhre T ist aus zwei kurzen Röhren von verschiedenem Durchmesser, die an ihren Enden zugeschmolzen sind, gefertigt. An dem unteren Ende befindet sich eine innere leitende Belegung C, welche mit dem Drahte w verbunden ist. Der Draht trägt an seinem oberen Ende einen Haken zum Anhängen und geht durch die

Mitte der inneren Röhre, welche mit irgend einem guten und dicht gepackten Isolator ausgefüllt ist. Aussen am oberen Ende der Röhre T ist noch eine leitende Belegung C_1 angebracht, auf welche ein metallischer Reflektor Z geschoben ist, der von dem Ende des Drahtes durch eine dicke Isolation getrennt ist.

Der ökonomische Gebrauch eines solchen Reflektors oder Verstärkers würde erfordern, dass die gesammte einem Luftkondensator zugeführte Energie wieder gewonnen werden kann, oder mit andern Worten, dass keine Verluste stattfinden, weder in dem gasförmigen Medium noch durch dessen Wirkung anderswo. Dies ist bei weitem nicht der Fall, aber glücklicher Weise können die Verluste beliebig reducirt werden. Hierüber sind einige Bemerkungen nöthig, um die im Laufe dieser Untersuchungen gewonnenen Erfahrungen vollkommen klar zu machen.

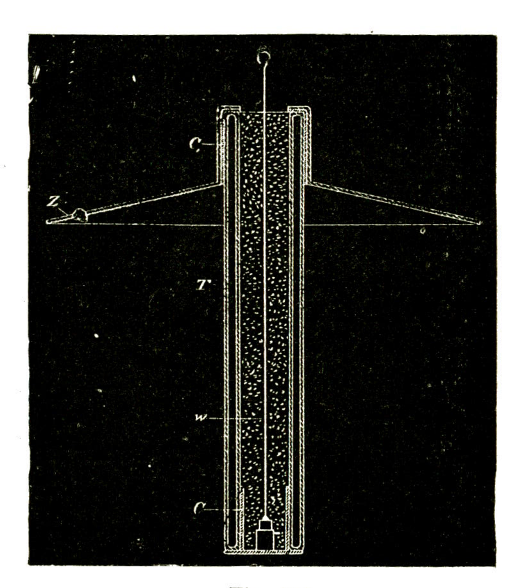


Fig. 156.

Angenommen, eine kleine Spirale mit vielen gut isolirten Windungen, wie in Fig. 146, sei mit dem einen Ende an eine der Klemmen der Induktionsspule und mit dem andern an eine im Raume isolirte Metallplatte oder, der Einfachheit wegen, an eine Metallkugel angeschlossen. Wenn die Spule in Thätigkeit gesetzt wird, wechselt das Potential der Kugel und die kleine Spule verhält sich nun, als ob ihr freies Ende mit der andern Klemme der Induktionsspule verbunden wäre. Wird ein Eisenstab in die kleine Spirale gehalten, so nimmt derselbe rasch eine hohe Temperatur an, ein Zeichen dafür, dass ein starker Strom durch die Spirale hindurchgeht. Wie wirkt die isolirte Kugel in diesem Falle? Sie kann wie ein Kondensator wirken, indem sie die zugeführte Energie aufspeichert und wieder abgiebt, oder sie kann eine Art Abzugskanal für die Energie sein, und die Umstände des Versuches bestimmen, ob sie eher das eine oder das andere ist. Ist die Kugel zu einem hohen Potential geladen, so wirkt sie induktiv auf die umgebende Luft oder das sonst etwa vorhandene gasförmige Medium.

Die in der Nähe der Kugel befindlichen Moleküle oder Atome werden natürlich mehr angezogen und bewegen sich durch eine grössere Strecke als die entfernteren. Wenn die nächsten Moleküle die Kugel treffen, werden sie zurückgestossen, und es finden in allen Entfernungen innerhalb der induktiven Wirkung der Kugel Kollisionen statt. Nun ist klar, dass, wenn die Spannung konstant ist, nur ein geringer Energieverlust auf diese Weise verursacht werden kann, da die der Kugel am nächsten gelegenen Moleküle, welchen durch die Berührung ein Ladungsüberschuss mitgetheilt worden war, erst angezogen werden, bis sie, wenn nicht den ganzen, so doch mindestens den grössten Theil des Ladungsüberschusses abgegeben haben, was nur nach sehr vielen Kollisionen der Fall sein kann. Zu einem solchen Schlusse muss man kommen mit Rücksicht auf die Thatsache, dass bei einem konstanten Potential in trockener Luft nur sehr wenig Verlust stattfindet. Ist die Spannung einer Kugel nicht konstant, sondern alternirend, so liegen die Verhältnisse ganz anders. In diesem Falle findet ein rythmisches Bombardement statt, gleichgültig, ob die Moleküle nach Berührung mit der Kugel die mitgetheilte Ladung verlieren oder nicht, nur sind, wenn sie die Ladung nicht verlieren, die Zusammenstösse um so heftiger. Trotzdem würde bei sehr geringer Frequenz der Impulse der durch das Anprallen und die Kollisionen verursachte Verlust nicht bedeutend sein, wenn nicht die Spannung ausserordentlich hoch wäre. Wenn aber ausserordentlich hohe Frequenzen und mehr oder weniger hohe Spannungen benutzt werden, kann der Verlust sehr bedeutend sein. Die gesammte in der Zeiteinheit verlorene Energie ist proportional dem Produkt aus der Anzahl der Zusammenstösse per Sekunde oder der Frequenz und der bei jedem Zusammenstoss verlorenen Energie. Die Energie eines Zusammenstosses muss aber dem Quadrat der elektrischen Dichte der Kugel proportional sein, da die dem Molekül mitgetheilte Ladung dieser Dichte proportional ist. Ich schliesse hieraus, dass die gesammte verlorene Energie dem Produkte aus der Frequenz und dem Quadrat der elektrischen Dichte proportional sein muss. Dieses Gesetz bedarf aber der experimentellen Bestätigung. Nimmt man die vorhergehenden Betrachtungen als richtig an, so kann durch rasches Alterniren des Potentials eines in einem isolirenden gasförmigen Medium enthaltenen Körpers jeder beliebige Energiebetrag in den Raum zerstreut werden. Der grösste Theil dieser Energie wird dann meiner Ansicht nach nicht in der Form langer Aetherwellen, die auf beträchtliche Entfernung fortgepflanzt werden, wie man allgemein glaubt, zerstreut, sondern wird — beispielsweise im Falle einer isolirten Kugel — durch Stoss- und Kollisionsverluste — d. h. Wärmeschwin-

gungen — an der Oberfläche und in der Nähe der Kugel verzehrt. Um die Streuung zu reduciren, muss man mit einer geringen elektrischen Dichte arbeiten — und zwar mit einer um so geringeren, je höher die Frequenz ist.

Da aber nach der vorher gemachten Annahme der Verlust mit dem Quadrate der Dichtigkeit abnimmt und da Ströme von sehr hohen Frequenzen, wenn durch Leiter übertragen, beträchtliche Verluste bedingen, so folgt, dass es im Grossen und Ganzen besser ist, nur einen Draht zu verwenden als zwei. Wenn daher Motoren, Lampen oder Apparate irgend welcher Art hergestellt sind, welche sich mit Strömen von ausserordentlich hoher Wechselzahl betreiben lassen, so lassen es ökonomische Gründe zweckmässig erscheinen, nur einen Draht zu benutzen, insbesondere wenn die Entfernungen gross sind.

Wird Energie in einem Kondensator absorbirt, so verhält sich derselbe so, als ob seine Kapacität grösser würde. Absorption findet stets mehr oder weniger statt, sie ist aber im Allgemeinen gering und ohne Folgen, so lange die Frequenzen nicht sehr gross sind. Bei Benutzung äusserst hoher Frequenzen und hoher Spannungen ist die Absorption — oder, was hier im Specielleren mit diesem Worte gemeint ist, der von der Anwesenheit eines gasförmigen Mediums herrührende Energieverlust — ein wichtiger in Betracht zu ziehender Faktor, da die in dem Luftkondensator absorbirte Energie jeden beliebigen Bruchtheil der zugeführten Energie betragen kann. Hieraus scheint hervorzugehen, dass es sehr schwierig ist, aus der gemessenen oder berechneten Kapacität eines Luftkondensators auf seine eigentliche Kapacität oder Schwingungsperiode zu schliessen, besonders wenn der Kondensator eine sehr kleine Oberfläche hat und zu sehr hohem Potential geladen ist. Da viele wichtige Resultate von der Richtigkeit der Beurtheilung der Schwingungsdauer abhängen, so erfordert dieser Gegenstand die sorgfältigste Untersuchung anderer Forscher. Um den wahrscheinlichen Fehler bei Versuchen der in Rede stehenden Art soviel als möglich zu reduciren, ist es zweckmässig, Kugeln oder Platten von grosser Oberfläche zu benutzen, um so die elektrische Dichte äusserst klein zu machen. Sonst sollte man, wenn dies angängig ist, lieber einen Oelkondensator benutzen. Im Oel oder in anderen flüssigen Dielektriken finden anscheinend keine solche Verluste wie in gasförmigen Medien statt. Da es unmöglich ist, bei Kondensatoren mit festen Dielektriken das Gas völlig auszuschliessen, sollten solche Kondensatoren, mindestens aus ökonomischen wenn nicht aus andern Gründen, in Oel gesetzt werden; sie können dann aufs Aeusserste beansprucht werden und bleiben doch kalt. Bei

Leydener Flaschen ist der von der Luft herrührende Verlust verhältnissmässig gering, da die Stanniolbelegungen gross und dicht bei einander und die geladenen Flächen der Einwirkung der Luft nicht direkt ausgesetzt sind; wenn aber das Potential sehr hoch ist, so kann der Verlust am oder nahe am oberen Rande der Belegung, wo die Einwirkung auf die Luft hauptsächlich stattfindet, mehr oder weniger erheblich sein. Wird die Flasche in gekochtes Oel getaucht, so ist sie im Stande, in derselben Zeit viermal so viel Arbeit zu leisten, als wenn sie in gewöhnlicher Weise benutzt wird, und der Verlust wird unbedeutend sein.

Man darf nicht glauben, dass der durch Erwärmung verursachte Verlust bei einem Luftkondensator nothwendig mit der Bildung sichtbarer Strömungen oder Büschel verknüpft sein müsse. Wird eine kleine in eine nicht evakuirte Birne eingeschlossene Elektrode mit der einen Klemme der Spule verbunden, so kann man von der Elektrode Lichtströmungen ausgehen sehen und die Luft in der Birne wird erwärmt; schliesst man statt einer kleinen Elektrode eine grosse Kugel in die Birne ein, so beobachtet man keine Strömungen und trotzdem wird die Luft erwärmt.

Auch darf man nicht denken, dass die Temperatur eines Luftkondensators auch nur eine angenäherte Vorstellung von den durch die Erwärmung verursachten Verlusten gäbe, da in einem solchen Falle die Wärme viel rascher abgegeben werden muss, weil ausser der gewöhnlichen Strahlung noch eine sehr wirksame Fortführung der Wärme durch unabhängige Träger stattfindet und da nicht nur der Apparat, sondern auch die Luft in einiger Entfernung von demselben infolge der nothwendig stattfindenden Kollisionen erwärmt wird. Infolge dessen kann bei Versuchen mit einer solchen Spule eine Temperaturerhöhung nur dann deutlich wahrgenommen werden, wenn der mit der Spule verbundene Körper sehr klein ist. Bei grösseren Apparaten aber würde auch ein Körper von beträchtlicher Ausdehnung, wie z. B. der Körper eines Menschen, erwärmt werden und geschickte Aerzte könnten meiner Ansicht nach nützliche Beobachtungen bei solchen Versuchen machen, die bei richtiger Konstruktion der Apparate nicht die geringste Gefahr darbieten würden.

Hier erhebt sich eine besonders für Meteorologen interessante Frage. Wie verhält sich die Erde? Die Erde ist ein Luftkondensator, ist sie aber ein vollkommener oder ein sehr unvollkommener Kondensator — ein blosser Abzugskanal für die Energie? Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass gegenüber einer so kleinen Störung, wie sie bei einem Versuche hervorgebracht werden könnte, die Erde wie ein beinahe voll-

kommener Kondensator sich verhält. Die Sache könnte aber anders sein, wenn ihre Ladung durch irgend eine plötzliche kosmische Störung in Schwingungen versetzt wird. In einem solchen Falle würde, wie vorher bemerkt, wahrscheinlich nur ein geringer Theil der Energie der erzeugten Schwingung in der Form langer Aetherschwingungen in den Raum verloren gehen, dagegen würde, wie ich glaube, der grösste Theil der Energie in molekularen Stössen und Kollisionen verzehrt werden und in den Raum in der Form kurzer Wärme- und möglicher Weise Lichtwellen übergehen. Da aller Wahrscheinlichkeit nach sowohl die Frequenz der Schwingungen der Ladung als auch die Spannung ausserordentlich gross sind, so kann die in Wärme verwandelte Energie beträchtlich sein. Da die Dichtigkeit entweder infolge der Unregelmässigkeit der Erdoberfläche oder wegen des Verhaltens der Atmosphäre an verschiedenen Orten ungleichmässig vertheilt sein muss, so würde die hervorgebrachte Wirkung dementsprechend von Ort zu Ort variiren. Auf diese Weise können an jedem Punkte der Erdoberfläche erhebliche Aenderungen in der Temperatur und dem Drucke der Atmosphäre hervorgebracht werden. Die Aenderungen können je nach der Art der allgemeinen Störung allmählich oder sehr plötzlich vor sich gehen und können Regen und Stürme zur Folge haben oder das Wetter an einem Orte in irgend einer Weise ändern.

Aus den vorhergehenden Bemerkungen ist ersichtlich, was für ein wichtiger Verlustfaktor die Luft in der Nähe einer geladenen Fläche wird, wenn die elektrische Dichte gross und die Frequenz der Impulse ausserordentlich hoch ist. Die erklärte Wirkung setzt aber voraus, dass die Luft ein Isolator ist, d. h. dass sie aus unabhängigen, in einem isolirenden Medium befindlichen Molekülen besteht. Dies ist nur der Fall, wenn die Luft unter dem gewöhnlichen oder grösseren oder unter ausserordentlich geringem Drucke steht. Ist die Luft aber nur unbedeutend verdünnt und leitend, so treten auch eigentliche Leitungsverluste auf. In solchem Falle kann natürlich auch bei konstantem Potential oder bei Impulsen von geringer Frequenz ein erheblicher Energiebetrag in den Raum zerstreut werden, falls die Dichtigkeit sehr gross ist.

Befindet sich das Gas unter sehr niedrigem Drucke, so wird die Elektrode stärker erwärmt, weil höhere Geschwindigkeiten erreicht werden. Wird das Gas um die Elektrode stark komprimirt, so sind die Verschiebungen und infolge dessen die Geschwindigkeiten sehr klein und die Erwärmung ist unbedeutend. Wenn jedoch in einem solchen Falle die Frequenz hinreichend erhöht werden könnte, so würde die Elektrode ebenso gut zu einer hohen Temperatur gebracht werden, als wenn das

Gas unter sehr geringem Drucke stände; thatsächlich ist die Evakuirung der Birne nur nothwendig, weil wir Ströme von der erforderlichen Frequenz nicht erzeugen (und möglicher Weise nicht fortleiten) können.

Kehren wir zu dem Gegenstande der Elektrodenlampen zurück, so ist es offenbar bei einer solchen Lampe vortheilhaft, durch Verhütung der Cirkulation des Gases in der Birne die Wärme so viel als möglich auf die Elektrode zu koncentriren. Eine sehr kleine Birne würde natürlich die Wärme besser koncentriren als eine grosse, aber sie könnte möglicher Weise nicht genügende Kapacität besitzen, um von der Spule betrieben werden zu können, oder, wenn dies der Fall ist, könnte das Glas zu heiss werden. Eine einfache Art, eine Verbesserung in dieser Beziehung zu erzielen, besteht darin, dass man eine Kugel von der erforderlichen Grösse anwendet und über den in derselben enthaltenen feuerbeständigen Knopf eine kleine Birne setzt, deren Durchmesser passend bestimmt ist. Diese Anordnung ist in Fig. 157 veranschaulicht.

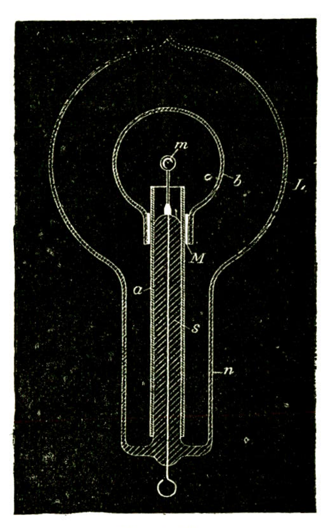


Fig. 157.

Die Kugel L hat in diesem Falle einen weiten Hals n, durch welchen die kleine Birne b hindurch gesteckt werden kann. Sonst ist die Konstruktion dieselbe wie die beispielsweise in Fig. 147 dargestellte. Die kleine Birne ist in geeigneter Weise an dem Stiele s, welcher den feuerbeständigen Knopf m trägt, angebracht. Dieselbe ist von der Aluminiumröhre a durch mehrere Glimmerlagen M getrennt, um das Zerspringen des Halses infolge der raschen Erhitzung der Aluminiumröhre nach einem plötzlichen Einschalten des Stromes zu verhüten. Die innere Birne sollte so klein als möglich sein, wenn man nur Licht durch das Glühen der Elektrode erhalten will. Will man dagegen Phosphorescenz erzeugen, so sollte die Birne grösser sein, da sie sonst leicht zu heiss werden und die Phosphorescenz aufhören würde. Bei dieser Anordnung zeigt in der Regel nur die kleine Birne Phosphorescenz, da gegen die äussere Kugel praktisch kein Bombardement stattfindet. Bei einigen dieser Birnen von der in Fig. 157 dargestellten Konstruktion war die kleine Birne mit phosphorescirender Farbe bestrichen und es wurden prächtige Effekte erzielt. Anstatt die innere Birne gross zu nehmen, um eine übermässige Erwärmung zu

verhüten, könnte man den Zweck auch dadurch erreichen, dass man die Elektrode *m* grösser macht. In diesem Falle wird das Bombardement infolge der geringeren elektrischen Dichte schwächer.

Einige Birnen wurden auch nach der in Fig. 158 abgebildeten Art hergestellt. Hier wurde eine kleine, den feuerbeständigen Knopf *m* enthaltende Birne *b*, nachdem dieselbe bis zu einem sehr hohen Grade luftleer gemacht war, in eine grosse Kugel *L* eingeschmolzen, welche sodann mässig evakuirt und abgeschmolzen wurde. Der Hauptvortheil dieser Konstruktion bestand darin, dass man ausserordentlich hohe Vakua erreichen und gleichzeitig eine grosse Birne benutzen konnte. Während der Versuche mit Birnen von der in Fig. 158 dargestellten Art ergab sich, dass es vortheilhaft war, den Stiel *s* in der Nähe der Schmelzstelle bei *e* sehr dick und den Einführungsdraht *w* dünn zu machen, da es zuweilen vorkam, dass der Stiel bei *e* erhitzt wurde und die Birne zersprang. Oefter wurde die äussere Kugel *L* nur gerade so weit evakuirt, dass die Entladung hindurchzugehen vermochte; alsdann erschien der Raum zwischen den Birnen carmesinroth, was einen merkwürdigen Effekt hervorbrachte. In einigen Fällen, wo die Luftverdünnung in der Kugel *L* sehr gering und daher die Luft gut leitend war, erwies es sich, um den Knopf *m* auf eine hohe Temperatur zu bringen, als nothwendig, am besten an dem oberen Theile des Halses der Kugel eine Stanniolbelegung anzubringen, welche mit einem isolirten Körper, mit der Erde oder dem andern Ende der Spule verbunden wurde, da die gut leitende Luft, wahrscheinlich weil sie von dem Drahte *w* an der Eintrittsstelle *e* desselben in die Birne induktiv beeinflusst wurde, die Wirkung etwas schwächte. Eine andere Schwierigkeit — die jedoch stets vorhanden ist, wenn der feuerbeständige Knopf in einer sehr kleinen Birne angebracht ist — besteht bei der in Fig. 158 dargestellten Konstruktion darin, dass das Vakuum in der Birne *b* in verhältnissmässig kurzer Zeit geschwächt werden würde.

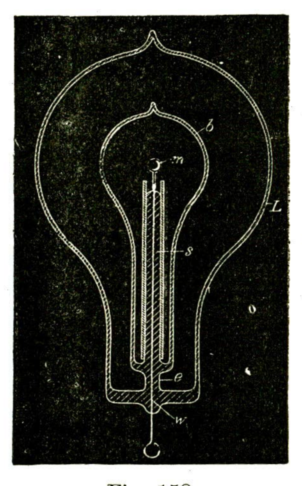


Fig. 158.

Die Hauptabsicht bei den beiden zuletzt beschriebenen Konstruktionen war die, durch Verhütung des Luftwechsels die Wärme auf den centralen Theil der Kugel zu beschränken. Dieser Vortheil wird allerdings erzielt, aber infolge der Erwärmung der inneren Birne und

der langsamen Verdampfung des Glases ist das Vakuum schwer zu erhalten, auch wenn man die in Fig. 157 dargestellte Konstruktion, bei welcher beide Birnen mit einander kommuniciren, wählt.

Bei weitem die beste Art — die ideale Art — würde aber die Herstellung genügend hoher Frequenzen sein. Je höher die Frequenz ist, um so langsamer würde der Luftwechsel stattfinden, und ich glaube, dass eine Frequenz erreicht werden kann, bei welcher überhaupt kein Wechsel der Luftmoleküle um die Elektrode herum stattfinden würde. Wir würden dann eine Flamme erzeugen, bei welcher kein Materialverbrauch stattfände; es würde eine merkwürdige Flamme sein, da sie starr wäre. Bei so hohen Frequenzen würde die Trägheit der Theilchen eine Rolle spielen. In demselben Maasse, als das Büschel oder die Flamme infolge der Trägheit der Theilchen starr wird, hört der Wechsel der letzteren auf. Dies würde nothwendig eintreten müssen, denn wenn die Zahl der Impulse zunimmt, würde die potentielle Energie eines jeden abnehmen, so dass schliesslich nur molekulare Schwingungen erzeugt werden könnten und die Translationsbewegung durch messbare Räume aufhören würde. So könnte z. B. die Leistungsfähigkeit eines gewöhnlichen mit einer Quelle von rasch wechselndem Drucke verbundenen Gasbrenners bis zu einer gewissen Grenze vermehrt werden und zwar aus zweierlei Ursachen, einmal infolge der ihm dadurch mitgetheilten vermehrten Schwingung und sodann wegen der Verlangsamung des Abführungsprocesses. Da aber die Erneuerung schwierig und eine Erneuerung zur Unterhaltung der Flamme nothwendig ist, so würde eine fortgesetzte Steigerung der Frequenz der Impulse, vorausgesetzt, dass dieselben bis zur Flamme fortgepflanzt und derselben mitgetheilt werden könnten, schliesslich das Erlöschen der letzteren zur Folge haben, wenn man unter diesem Ausdruck nur das Aufhören des chemischen Processes versteht.

Ich glaube jedoch, dass im Falle einer Elektrode, welche in ein flüssiges isolirendes Medium taucht und von unabhängigen Trägern elektrischer Ladungen, auf welche eine induktive Wirkung ausgeübt werden kann, umgeben ist, eine hinreichend hohe Frequenz der Impulse wahrscheinlich eine Gravitation des gesammten umgebenden Gases gegen die Elektrode zur Folge haben würde. Dazu braucht man nur anzunehmen, dass die unabhängigen Körper unregelmässig gestaltet sind; sie würden dann der Elektrode die Seite der grössten elektrischen Dichte zukehren und in dieser Lage würde der Widerstand des Fluidums gegen eine Annäherung an die Elektrode geringer sein als gegen das Zurückweichen von derselben.

Die allgemeine Meinung ist zweifellos die, dass von der Erreichung so hoher Frequenzen, wie sie — unter der Annahme der Richtigkeit

der vorher dargelegten Ansichten — zur Erzeugung der von mir nur als blosse Möglichkeiten hingestellten Resultate erforderlich sein würden, keine Rede sein könne. Möglich wäre das immerhin, aber im Verlaufe dieser Untersuchungen, aus der Beobachtung vieler Erscheinungen habe ich die Ueberzeugung gewonnen, dass diese Frequenzen viel niedriger sein würden, als man zunächst denken möchte. In einer Flamme erzeugen wir Lichtschwingungen dadurch, dass wir die Moleküle oder Atome mit einander kollidiren lassen. In welchem Verhältniss stehen aber die Frequenz der Kollisionen und die der erzeugten Schwingungen? Sicher ist dasselbe unvergleichlich kleiner als das Verhältniss der Glockenschläge und der Schallschwingungen oder das Verhältniss der Entladungen und der Oscillationen des Kondensators. Wir können die Moleküle des Gases durch Anwendung alternirender elektrischer Impulse von hoher Frequenz zur Kollision bringen und können auf solche Weise den Vorgang in einer Flamme nachahmen; und nach den Versuchen mit Frequenzen, wie wir sie jetzt zu erreichen im Stande sind, glaube ich auch, dass man das Resultat mit Impulsen hervorbringen kann, die sich durch einen Leiter übertragen lassen.

Im Zusammenhang mit Ueberlegungen ähnlicher Art erschien es mir von grossem Interesse, die Starrheit einer schwingenden Gassäule nachzuweisen. Wenn auch bei so geringen Frequenzen wie etwa 10 000 per Sekunde, wie ich sie ohne Schwierigkeit mit Hülfe einer besonders konstruirten Wechselstrommaschine zu erhalten im Stande war, der Versuch zunächst nicht gerade vielversprechend war, so machte ich doch eine Reihe von Versuchen. Die Versuche mit Luft bei gewöhnlichem Drucke führten zu keinem Resultat, aber mit mässig verdünnter Luft erhielt ich ein Resultat, das meiner Ansicht nach ein unverkennbarer experimenteller Beweis für die gesuchte Eigenschaft ist. Da ein derartiges Ergebniss geschickte Forscher zu wichtigen Folgerungen führen könnte, will ich einen der angestellten Versuche beschreiben.

Bekanntlich kann, wenn eine Röhre nur wenig evakuirt ist, die Entladung durch dieselbe in der Form eines dünnen leuchtenden Fadens hindurchgesandt werden. Dieser Faden ist unbeweglich, wenn er mit Strömen niedriger Frequenz, wie sie von einer in der gewöhnlichen Weise bethätigten Spule erhalten werden, hervorgebracht ist. Wird demselben ein Magnet genähert, so wird der dem letzteren am nächsten liegende Theil je nach der Richtung der Kraftlinien des Magneten angezogen oder abgestossen. Es kam mir nun der Gedanke, dass ein solcher Faden, wenn er mit Strömen sehr hoher Frequenz erzeugt würde, mehr oder weniger starr sein müsse und dass er, da er sicht-

bar ist, leicht zu untersuchen sein würde. Infolgedessen stellte ich mir eine Röhre von etwa 25 mm Durchmesser und 1 m Länge mit äusseren Belegungen an jedem Ende her. Die Röhre wurde bis zu einem Punkte evakuirt, bei welchem die Fadenentladung ohne grosse Mühe zu erhalten war. Es mag hier daran erinnert werden, dass das allgemeine Aussehen der Röhre und der erforderliche Grad der Evakuirung ganz andere sind, als wenn gewöhnliche Ströme niedriger Frequenz benutzt werden. Da es sich vortheilhafter erwies, mit nur einem Pol zu arbeiten, wurde die fertige Röhre an dem Ende eines mit dem Pole verbundenen Drahtes aufgehängt, während die Stanniolbelegung mit dem Drahte verbunden war; mit der unteren Belegung war zuweilen eine kleine isolirte Platte verbunden. Wenn der Faden gebildet war, erstreckte er sich durch den oberen Theil der Röhre und verlor sich in dem unteren Ende. Besass er Starrheit, so glich er nicht genau einer zwischen zwei festen Punkten straff ausgespannten elastischen Saite, sondern eher einem herabhängenden Seile, an dessen unterem Ende ein kleines Gewicht befestigt ist. Wurde der Finger oder ein kleiner Magnet dem oberen Ende des leuchtenden Fadens genähert, so konnte er durch elektrostatische oder magnetische Wirkung lokal aus seiner Lage gebracht werden, und wenn der störende Gegenstand sehr schnell weggezogen wurde, so erhielt man ein analoges Resultat, als ob ein herabhängendes Seil nahe am Aufhängungspunkte aus seiner Lage gebracht und dann schnell losgelassen wird. Hierdurch wurde der Faden in Schwingungen gesetzt und es bildeten sich zwei scharf markirte und ein dritter weniger deutlicher Knoten. Nachdem die Schwingung einmal erzeugt war, dauerte sie volle acht Minuten und hörte allmählich auf. Die Geschwindigkeit der Schwingungen variirte oft merklich und man konnte beobachten, dass die elektrostatische Anziehung des Glases den schwingenden Faden beeinflusste; offenbar aber war die elektrostatische Wirkung nicht die Ursache der Schwingung, da der Faden meistens stationär war und stets dadurch in Schwingungen gesetzt werden konnte, dass man den Finger nahe am oberen Theile der Röhre vorbeiführte. Mit einem Magnet konnte der Faden in zwei gespalten und beide Theile in Schwingungen versetzt werden. Durch Annäherung der Hand an die untere Belegung der Röhre oder an die isolirte Platte, wenn eine solche daran angebracht war, wurde die Schwingung beschleunigt, ebenso, so weit ich sehen konnte, durch Steigerung der Spannung oder Frequenz. Die Steigerung der Frequenz oder das Hindurchschicken einer stärkeren Entladung von derselben Frequenz hatte eine Strafferspannung des Fadens zur Folge. Mit Kondensatorentladungen hatte ich keinen rechten Erfolg. Ein in der Birne durch

wiederholte Entladungen einer Leydener Flasche erregtes Lichtband muss Starrheit besitzen und müsste Schwingungen ausführen, wenn es deformirt und plötzlich losgelassen wird. Wahrscheinlich ist aber die Menge der schwingenden Masse so gering, dass trotz der ausserordentlich hohen Geschwindigkeit die Trägheit sich nicht besonders geltend machen kann. Ausserdem ist die Beobachtung in einem solchen Falle wegen der Fundamentalschwingungen äusserst schwierig.

Der Nachweis der Thatsache, welche indessen noch besserer experimenteller Bestätigung bedarf, dass eine schwingende Gassäule Starrheit besitzt, dürfte eine erhebliche Aenderung in den Ansichten der Forscher zur Folge haben. Wenn schon bei niedrigen Frequenzen und unbedeutenden Spannungen Anzeichen einer solchen Eigenschaft beobachtet werden können, wie muss sich erst ein gasförmiges Medium unter dem Einfluss der enormen elektrostatischen Spannungen verhalten, welche in dem Sternenraume in Thätigkeit treten und mit unbegreiflicher Schnelligkeit alterniren können? Die Existenz einer solchen elektrostatischen, rythmisch sich ändernden Kraft — eines vibrirenden elektrostatischen Feldes — könnte eine Erklärung dafür an die Hand geben, wie sich aus dem ultragasförmigen Urzustande feste Körper haben bilden und wie transversale und alle andern Schwingungen durch ein den ganzen Raum erfüllendes gasförmiges Medium übertragen werden können. Alsdann könnte Aether eine wirkliche Flüssigkeit ohne Starrheit sein, die sich im Ruhezustand befindet und nur als ein Zwischenglied zur Ermöglichung der Energieübertragung nothwendig wäre. Was bestimmt die Starrheit eines Körpers? Offenbar die Geschwindigkeit und die Menge der beweglichen Masse. In einem Gase kann die Geschwindigkeit erheblich sein, aber die Dichte ist ausserordentlich klein; in einer Flüssigkeit würde vermuthlich die Geschwindigkeit klein sein, während die Dichte beträchtlich sein kann, und in beiden Fällen ist der einer Verschiebung entgegengesetzte Trägheitswiderstand praktisch Null. Man setze aber eine Gas- (oder Flüssigkeits-) Säule in ein intensives rasch wechselndes elektrostatisches Feld und lasse die Theilchen mit enormen Geschwindigkeiten vibriren, dann wird sich der Trägheitswiderstand geltend machen. Durch die vibrirende Masse hindurch könnte sich ein Körper mit mehr oder weniger Freiheit bewegen, als Ganzes betrachtet aber würde sie starr sein.

Noch einen Gegenstand muss ich im Zusammenhang mit diesen Versuchen erwähnen, nämlich die hohen Vakua. Dies ist ein Gegenstand, dessen Studium nicht nur interessant, sondern auch nützlich ist, da dasselbe zu Resultaten von grosser praktischer Wichtigkeit führen kann. Bei käuflichen Apparaten, wie z. B. Glühlampen, die von ge-

wöhnlichen Vertheilungsnetzen gespeist werden, würde ein um vieles höheres Vakuum, als man gegenwärtig anwendet, keinen sehr grossen Vortheil bringen. In einem solchen Falle wird die Arbeit an dem Faden geleistet und das Gas kommt nur wenig in Betracht; die Verbesserung würde daher nur geringfügig sein. Wenn wir aber sehr hohe Frequenzen und Spannungen zu benutzen anfangen, so wird die Wirkung des Gases sehr wichtig und der Grad der Luftverdünnung modificirt wesentlich die Resultate. So lange gewöhnliche Spulen, wenn auch sehr grosse, benutzt wurden, war das Studium des Gegenstandes begrenzt, weil dasselbe gerade an dem Punkte, wo es am interessantesten wurde, abgebrochen werden musste, da das „nicht zu durchschlagende" Vakuum erreicht war. Gegenwärtig aber sind wir im Stande, mit einer kleinen Spule für disruptive Entladung viel höhere Spannungen zu erzeugen, als selbst die grösste Spule zu geben vermochte, und, was noch wichtiger ist, wir können die Spannung mit grosser Geschwindigkeit alterniren lassen. Diese beiden Resultate setzen uns nun in den Stand, eine Lichtentladung durch beinahe jedes erreichbare Vakuum hindurchzuschicken, und dadurch hat das Feld unserer Untersuchungen bedeutend an Ausdehnung gewonnen. Mag man denken was man wolle, von allen möglichen Methoden, ein praktisches Beleuchtungsmittel auszubilden, scheint die Verwendung hoher Vakua gegenwärtig das am meisten versprechende zu sein. Um aber ausserordentlich hohe Vakua herzustellen, müssen die Apparate noch erheblich verbessert werden, und Vollkommenheit in dieser Beziehung werden wir erst erreichen, wenn wir die mechanische Vakuumpumpe aufgegeben und eine elektrische hergestellt haben. Die Moleküle und Atome können aus der Birne herausgeschafft werden unter der Wirkung einer enormen Spannung; dies wird das Princip der Vakuumpumpe der Zukunft sein. Gegenwärtig müssen wir mit mechanischen Apparaten die bestmöglichen Resultate zu erreichen suchen. In dieser Beziehung dürfte es nicht am unrechten Orte sein, einige Worte über die Methode und die Apparate zu sagen, die ich im Laufe dieser Untersuchungen zur Erzeugung äusserst hoher Luftverdünnungen benutzt habe. Höchst wahrscheinlich werden andere Experimentatoren ähnliche Anordnungen benutzt haben; da es aber immerhin möglich ist, dass man ihrer Beschreibung einiges Interesse entgegenbringt, so mögen einige Bemerkungen zur grösseren Vervollständigung dieser Untersuchung gestattet sein.

Der Apparat ist in der in Fig. 159 ersichtlichen Abbildung dargestellt. *S* stellt eine Sprengel'sche Luftpumpe dar, welche speciell für den hier beabsichtigten Zweck konstruirt worden ist. Der gewöhnlich angewendete Absperrhahn ist weggelassen und an seiner Stelle ist

in den Hals des Reservoirs R ein hohler Stöpsel s eingepasst. Dieser Stöpsel hat eine kleine Oeffnung h, durch welche das Quecksilber herabsteigt, während die Grösse der Ausflussöffnung o mit Rücksicht auf den Querschnitt des Fallrohres t, welches, anstatt mit dem Reservoir in gewöhnlicher Weise verbunden zu sein, an dasselbe angeschmolzen ist, passend bestimmt ist. Durch diese Anordnung werden die Unvollkommenheiten und Störungen beseitigt, welche sich beim Gebrauch des Absperrhahns am Reservoir und infolge der Verbindungen des letzteren mit dem Fallrohr öfter ergaben.

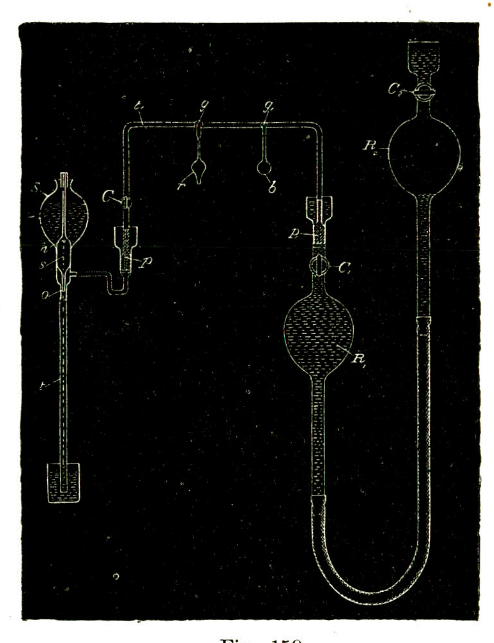


Fig. 159.

Die Pumpe ist durch ein U-förmiges Rohr t mit einem sehr grossen Reservoir R_1 verbunden. Besondere Sorgfalt wurde auf das Einpassen der Reibflächen der Stöpsel p und p_1 verwendet und sowohl diese wie die Quecksilbernäpfe über ihnen sind ausnahmsweise lang gewählt. Nach Einpassung des U-förmigen Rohres wurde dasselbe erwärmt, um es zu erweichen und den aus dem unvollkommenen Einpassen sich ergebenden einseitigen Druck zu beseitigen. Das U-förmige Rohr war mit einem Absperrhahn C und zwei Verbindungen g und g_1, die eine für eine kleine in der Regel kaustisches Kali enthaltende Kugel, die andere für den zu evakuirenden Recipienten r, versehen.

Das Reservoir R_1 war mittels eines Kautschukrohres mit einem etwas grösseren Reservoir R_2 verbunden und jedes der beiden Reservoire war mit einem Absperrhahn C_1 bzw. C_2 versehen. Das Reservoir R_2 konnte durch ein Rad mit Zahnstange gehoben oder gesenkt werden und der Spielraum seiner Bewegung war derartig bestimmt, dass, wenn es mit Quecksilber gefüllt und der Hahn C_2 geschlossen war, so dass in ihm beim Indiehöheheben eine Torricellische Leere entstand, es so hoch gehoben werden konnte, dass das Reservoir R_1 ein wenig über dem Hahn C_1 stand; wenn dagegen dieser Hahn geschlossen und das Reservoir R_2 gesenkt wurde,

so dass sich in dem Reservoir R_1 ein Torricellisches Vakuum bildete, so konnte das Reservoir R_2 so weit gesenkt werden, dass sich R_1 vollständig entleerte und das Quecksilber das Reservoir R_2 bis etwas über den Hahn C_2 anfüllte.

Das Fassungsvermögen der Pumpe und der Verbindungen war relativ zum Volumen des Reservoirs R_1 möglichst klein genommen, da natürlich der Grad der Luftverdünnung von dem Verhältniss dieser Grössen abhing.

Mit diesem Apparate kombinirte ich die üblichen, von früheren Experimentatoren für die Erzeugung sehr hoher Vakua angegebenen Hülfsmittel. Bei den meisten der Versuche erwies sich die Verwendung von kaustischem Kali am zweckmässigsten. Bezüglich seines Gebrauches kann ich sagen, dass viel Zeit gespart und eine vollkommenere Wirkung der Pumpe erzielt wird, wenn man das Kali erst, kurz bevor man die Pumpe aufstellt, schmilzt und siedet. Wendet man diese Vorsicht nicht an, so können die Stücke, die man gewöhnlich anwendet, sehr langsam Feuchtigkeit abgeben und die Pumpe kann viele Stunden lang arbeiten, ohne dass man ein sehr hohes Vakuum erreicht. Das Kali wurde entweder durch eine Spirituslampe oder durch Hindurchsendung eines elektrischen Funkens oder durch Hindurchsendung eines Stromes durch einen in ihm enthaltenen Draht erhitzt. Der Vortheil im letzteren Falle bestand darin, dass die Erhitzung schneller wiederholt werden konnte.

Im Grossen und Ganzen war der Vorgang der Evakuirung folgender: Am Anfang wurde, nachdem die Hähne C und C_1 geöffnet und alle andern Verbindungen geschlossen waren, das Reservoir R_2 so weit gehoben, dass das Quecksilber das Reservoir R_1 und einen Theil des engen U-förmigen Verbindungsrohres ausfüllte. Wurde die Pumpe in Thätigkeit gesetzt, so stieg natürlich das Quecksilber in der Röhre rasch; deshalb wurde das Reservoir R_2 gesenkt, wobei vom Experimentator darauf gesehen wurde, dass das Quecksilber etwa in derselben Höhe blieb. Das Reservoir R_2 war durch eine lange Feder ausbalancirt, welche die Operation erleichterte, und die Reibung der Theile war im Allgemeinen ausreichend, um es beinahe in jeder Lage festzuhalten. Hatte die Sprengel'sche Pumpe ihr Werk verrichtet, so wurde das Reservoir R_2 weiter gesenkt und das Quecksilber fiel in R_1 und füllte R_2, worauf der Hahn C_2 geschlossen wurde. Die an den Wänden von R_1 anhaftende und die von dem Quecksilber absorbirte Luft wurde ausgetrieben, und um das Quecksilber von aller Luft zu befreien, wurde das Reservoir R_2 eine lange Zeit hindurch auf und niederbewegt. Während dieses Vorganges wurde die Luft, die sich etwa unter dem Absperrhahn C_2 ansammelte, aus R_2 ausgetrieben, indem man letz-

teres weit genug senkte und den Hahn öffnete; letzterer muss jedoch wieder geschlossen werden, ehe man das Reservoir in die Höhe hebt. Wenn alle Luft aus dem Quecksilber ausgetrieben war und sich beim Niedersenken von R_2 keine Luft in diesem sammelte, wurde das kaustische Kali zu Hülfe genommen. Das Reservoir R_2 wurde nun wiederum gehoben, bis das Quecksilber in R_1 über dem Hahne C_1 stand. Das kaustische Kali wurde geschmolzen und gesiedet und die Feuchtigkeit theilweise durch die Pumpe abgeführt und theilweise wieder absorbirt; und dieser Process der Erhitzung und Abkühlung wurde oftmals wiederholt und jedesmal wurde, nach Absorbirung oder Abführung der Feuchtigkeit, das Reservoir R_2 eine Zeit lang gehoben und gesenkt. Auf diese Weise wurde alle Feuchtigkeit aus dem Quecksilber entfernt und die beiden Reservoire waren nun in dem für den Gebrauch geeigneten Zustande. Das Reservoir R_2 wurde dann wiederum bis zum höchsten Punkte erhoben und die Pumpe eine Zeit lang in Thätigkeit erhalten. War das höchste Vakuum, welches sich mit der Pumpe erzielen liess, erreicht, so wurde die mit Kali gefüllte Kugel gewöhnlich mit Baumwolle, die, um das Kali bei sehr niedriger Temperatur zu erhalten, mit Aether befeuchtet war, bewickelt, alsdann wurde das Reservoir R_2 gesenkt, nachdem das Reservoir R_1 entleert war, der Recipient schnell zugeschmolzen.

Wenn eine neue Birne eingesetzt wurde, wurde das Quecksilber stets über den geschlossenen Absperrhahn C_1 getrieben, um das Quecksilber und die beiden Reservoirs stets in gutem Zustande zu erhalten, und das Quecksilber wurde aus R_1 niemals herausgelassen, ausser wenn die Pumpe den höchsten Grad der Luftverdünnung erreicht hatte. Diese Vorsicht muss man anwenden, wenn man den Apparat vortheilhaft benutzen will.

Mit Hülfe dieser Anordnung vermochte ich sehr schnell zu arbeiten und, wenn der Apparat vollkommen in Ordnung war, konnte ich den phosphorescirenden Zustand in einer kleinen Birne in weniger als fünfzehn Minuten erreichen, was gewiss für eine kleine Laboratoriumseinrichtung, die insgesammt etwa 45 kg Quecksilber erforderte, ein sehr schnelles Arbeiten war. Bei gewöhnlichen kleinen Lampenbirnen war das Verhältniss des Inhalts der Pumpe, des Recipienten und der Verbindungen und desjenigen des Reservoirs R etwa 1 : 20, und die erreichten Evakuirungsgrade waren unbedingt sehr hoch, wenn ich auch nicht im Stande bin, eine genaue und zuverlässige Angabe, wie weit die Luftverdünnung getrieben wurde, zu machen.

Was den Forscher im Verlaufe dieser Untersuchungen am meisten überrascht, ist das Verhalten der Gase, wenn dieselben sehr rasch wechselnden elektrostatischen Spannungen unterworfen werden. Er bleibt

jedoch im Zweifel darüber, ob die beobachteten Wirkungen gänzlich den Molekülen oder Atomen des Gases, welche die chemische Analyse uns offenbart, zuzuschreiben sind, oder ob ein anderes Medium von gasförmiger Natur ins Spiel kommt, welches Atome oder Moleküle enthält, die in einem den Raum durchdringenden Fluidum schwimmen. Ein solches Medium muss sicher existiren und ich bin überzeugt, dass z. B. auch beim Nichtvorhandensein von Luft die Oberfläche und Umgebung eines Körpers im Raum durch das rasche Wechseln des Potentials des Körpers erwärmt werden würde; es würde aber keine solche Erwärmung der Oberfläche oder der Umgebung stattfinden können, wenn alle freien Atome entfernt würden und nur eine homogene inkompressible und elastische Flüssigkeit — die der Aether der allgemeinen Annahme nach doch sein soll — übrig bliebe, da alsdann keine Stösse und Kollisionen vorkämen. In einem solchen Falle könnten, soweit der Körper selbst in Betracht kommt, nur Reibungsverluste im Innern stattfinden.

Es ist eine merkwürdige Thatsache, dass die Entladung durch ein Gas hindurch mit stets wachsender Leichtigkeit erfolgt, sobald die Frequenz der Impulse vermehrt wird. Das Gas verhält sich in dieser Beziehung ganz entgegengesetzt wie ein metallischer Leiter. Im letzteren tritt bei Erhöhung der Frequenz die Impedanz in hervorragendem Maasse ins Spiel, während das Gas mehr wie eine Reihe von Kondensatoren wirkt. Die Leichtigkeit, mit welcher die Entladung hindurchgeht, scheint von der Geschwindigkeit der Spannungsänderung abzuhängen. Wirkt das Gas in dieser Weise, so könnte in einer Vakuumröhre auch von grosser Länge, und gleichgültig wie stark der Strom ist, die Selbstinduktion sich nicht in irgendwie merklichem Grade geltend machen. Wir haben dann, soweit wir gegenwärtig sehen können, in dem Gase einen Leiter, der elektrische Impulse von jeder beliebigen Frequenz, die wir überhaupt erzeugen können, zu übertragen vermag. Könnte die Frequenz hinreichend hoch genommen werden, so liesse sich ein merkwürdiges System elektrischer Vertheilung, was für die Gasgesellschaften interessant sein dürfte, herstellen: nämlich mit Gas gefüllte Metallröhren — bei denen das Metall der Isolator, das Gas der Leiter ist — zur Speisung phosphorescirender Lampenbirnen oder vielleicht noch unerfundener Apparate. Es ist sicher möglich, wenn man einen hohlen Kupferkern nimmt, das Gas in demselben verdünnt und durch einen denselben umgebenden Stromkreis Impulse von genügend hoher Frequenz hindurchsendet, das Gas innen zu einem hohen Grade des Glühens zu bringen; bezüglich der Natur der Kräfte würde aber beträchtliche Unsicherheit bestehen, da es zweifelhaft sein würde, ob bei solchen Impulsen

der Kupferkern wie ein statischer Schirm wirken würde. Derartigen Paradoxis und scheinbaren Unmöglichkeiten begegnen wir bei Arbeiten nach dieser Richtung bei jedem Schritte und darin gerade liegt grossentheils der Reiz der Untersuchung.

Ich habe hier eine kurze, weite Röhre, welche bis zu einem hohen Grade evakuirt und mit einer ziemlich starken Broncebelegung bedeckt ist, derart, dass die Belegung kaum das Licht durchscheinen lässt. Um den mittleren Theil der Röhre ist eine Metallhülse mit einem Haken zur Aufhängung der Röhre befestigt, der mit der Broncebelegung in Berührung ist. Ich will nun das Gas innen zum Leuchten bringen, indem ich die Röhre an einem mit der Spule verbundenen Drahte aufhänge. Wer den Versuch zum ersten Male probirt, ohne vorher Erfahrung darin zu haben, wird es wahrscheinlich einzurichten suchen, dass er bei der Ausführung des Versuches ganz allein ist, aus Furcht, die Zielscheibe des Spottes der Umstehenden zu werden. Und doch leuchtet die Birne trotz der Metallbelegung und das Licht kann durch die letztere hindurch deutlich wahrgenommen werden. Eine lange mit Aluminiumbronce belegte Röhre leuchtet, in der einen Hand gehalten, während die andere die Klemme der Spule berührt, recht kräftig. Man könnte einwenden, dass die Belegungen nicht leitend genug sind; und doch müssten sie, auch wenn sie grossen Widerstand besässen, auf das Gas eine Schirmwirkung ausüben. Sie thun dies sicher vollkommen im Zustande der Ruhe, aber nichts weniger als vollkommen, wenn die Ladung in der Belegung steigt. Der innerhalb der Röhre trotz des Schirmes eintretende Energieverlust aber ist hauptsächlich durch das Vorhandensein des Gases veranlasst. Nähmen wir eine grosse hohle Metallkugel und füllten sie mit einem vollkommenen inkompressiblen flüssigen Dielektrikum, so würde innerhalb der Kugel kein Verlust stattfinden und demgemäss könnte das Innere als vollkommen geschützt betrachtet werden, obwohl die Spannung sehr rasch alternirt. Auch wenn die Kugel mit Oel gefüllt wäre, würde der Verlust unvergleichlich geringer sein, als wenn die Flüssigkeit durch ein Gas ersetzt wird, da im letzteren Falle Verschiebungen, d. h. Stösse und Kollisionen, im Innern hervorgebracht werden.

Welches auch der Druck des Gases sein möge, dasselbe bildet stets einen wichtigen Faktor bei der Erwärmung eines Leiters, falls die elektrische Dichte gross und die Frequenz sehr hoch ist. Dass Luft bei der Erwärmung der Leiter durch Blitzentladungen ein Element von grosser Bedeutung ist, ist fast so sicher wie eine experimentell festgestellte Thatsache. Ich kann die Wirkung der Luft durch den folgenden Versuch veranschaulichen. Ich nehme eine kurze Röhre, die nur mässig evakuirt ist und

einen durch die Mitte von einem bis zum andern Ende laufenden Platindraht besitzt. Ich schicke einen konstanten Strom oder einen Strom von geringer Frequenz durch den Draht hindurch und derselbe wird in allen Theilen gleichmässig erwärmt. Die Erwärmung wird hier durch Leitung oder durch Reibungsverluste hervorgebracht und das den Draht umgebende Gas hat dabei, so weit wir sehen können, nichts zu thun. Nun wollen wir aber plötzliche Entladungen oder Ströme von hoher Frequenz durch den Draht hindurchsenden. Wiederum wird der Draht erwärmt und zwar diesmal hauptsächlich an den Enden und weniger in dem mittleren Theile; und wenn die Frequenz der Impulse oder die Geschwindigkeit der Aenderung hoch genug ist, könnte auch der Draht ebenso gut in der Mitte zerschnitten werden, da praktisch alle Wärme von dem verdünnten Gase herrührt. Hier könnte das Gas nur wie ein Leiter ohne Impedanz wirken, indem es den Strom von dem Drahte ablenkt, sobald die Impedanz des letzteren enorm vergrössert wird, und nur die Enden des Drahtes infolge ihres Widerstandes gegen den Durchgang der Entladung erwärmt. Aber es ist überhaupt nicht nothwendig, dass das Gas in der Röhre leitend ist; es könnte unter äusserst niedrigem Drucke stehen und doch würden die Enden des Drahtes erwärmt werden, wie auch durch die Erfahrung bestätigt wird, nur würden in diesem Falle die beiden Enden nicht durch das gasförmige Medium elektrisch verbunden sein. Was nun bei diesen Frequenzen und Spannungen in einer evakuirten Röhre stattfindet, findet bei den Blitzentladungen unter gewöhnlichem Drucke statt. Wir brauchen uns nur an die im Laufe dieser Untersuchungen zu Tage geförderten Thatsachen zu erinnern, nämlich dass sich das Gas bei gewöhnlichem Drucke gegen Impulse von sehr hoher Frequenz in ganz derselben Weise verhält, als ob es unter mässig geringem Drucke stände. Ich bin der Ansicht, dass bei Blitzentladungen häufig Drähte oder leitende Gegenstände nur wegen des Vorhandenseins von Luft verflüchtigt werden, und dass der Leiter, wenn er in eine isolirende Flüssigkeit tauchte, geschützt sein würde, da dann die Energie anderswo aufgebraucht werden würde. Durch das Verhalten des Gases unter plötzlichen Impulsen von hoher Spannung wurde ich zu dem Schlusse geführt, dass es keinen sichereren Weg geben kann, eine Blitzentladung abzulenken, als indem man ihr den Durchgang durch ein Gasvolumen ermöglichte, wenn sich dies in praktischer Weise ausführen liesse.

Auf zwei weitere Eigenthümlichkeiten glaube ich noch im Zusammenhang mit diesen Versuchen eingehen zu müssen, nämlich auf den „strahlenden Zustand“ und das „nicht zu durchschlagende Vakuum“.

Jeder, welcher Crookes' Werk studirt hat, muss den Eindruck gewonnen haben, dass der „strahlende Zustand“ eine Eigenschaft des Gases ist, die mit einem ausserordentlich hohen Grade der Luftverdünnung untrennbar verbunden ist. Man sollte aber daran denken, dass die in einem luftverdünnten Gefässe beobachteten Erscheinungen durch die Art und die Kapacität des benutzten Apparates bedingt sind. Ich bin der Meinung, dass sich ein Molekül oder Atom in einer Birne nicht deswegen in einer geraden Linie bewegt, weil es auf kein Hinderniss trifft, sondern weil die ihm mitgetheilte Geschwindigkeit hinreichend ist, um dasselbe in einer merklich geraden Linie fortzutreiben. Dort ist es die mittlere freie Bahn, hier die Geschwindigkeit — die mit dem beweglichen Körper verbundene Energie —, welche die Moleküle sich in gerader Linie bewegen lässt, und nach meiner Ansicht ist dies unter gewöhnlichen Umständen bloss eine Frage der Spannung oder Geschwindigkeit. Eine Spule für disruptive Entladung erregt, wenn die Spannung weit genug getrieben wird, Phosphorescenz und wirft Schatten bei verhältnissmässig geringer Luftverdünnung. Bei einer Blitzentladung bewegt sich die Materie in geraden Linien bei gewöhnlichem Drucke, wo die mittlere freie Bahn ausserordentlich klein ist, und oft sind durch die in geraden Linien fortgeschleuderten Theilchen auf naheliegenden Gegenständen Bilder der Drähte oder anderer metallischer Gegenstände hervorgebracht worden.

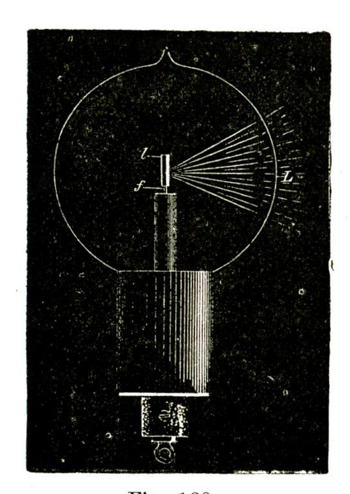


Fig. 160.

Ich habe eine Lampenbirne angefertigt, um durch einen Versuch die Richtigkeit dieser Behauptungen zu illustriren. In einer Kugel L, Fig. 160, habe ich auf einem Lampenfaden f ein Stückchen Kalk l befestigt. Der Lampenfaden ist mit einem in die Birne hineinführenden Drahte verbunden und die allgemeine Konstruktion der Birne ist so, wie sie oben gelegentlich der Fig. 148 beschrieben wurde. Wird die Birne an einem mit der Klemme der Spule verbundenen Drahte aufgehängt und die Spule in Thätigkeit gesetzt, so werden das Kalkstück l und die hervorragenden Theile des Fadens f bombardirt. Die Luftverdünnung ist gerade derart, dass bei der Spannung, welche die Spule zu geben vermag, Phosphorescenz des Glases erzeugt wird, aber sogleich wieder verschwindet, wenn das Vakuum geringer wird. Da der Kalk Feuchtig-

keit enthält und die Feuchtigkeit bei eintretender Erwärmung abgegeben wird, so dauert die Phosphorescenz nur wenige Augenblicke. Ist der Kalk genügend erhitzt, so ist Feuchtigkeit genug abgegeben, um eine wesentliche Schwächung des Vakuums der Birne herbeizuführen. Sobald das Bombardement beginnt, wird die eine Stelle des Kalkstückes mehr erhitzt als andere Stellen und das Resultat ist, dass schliesslich praktisch die ganze Entladung durch jene Stelle, welche intensiv heiss wird, hindurchgeht und dann von dieser Stelle ein weisser Strom von Kalktheilchen hervorbricht (Fig. 160). Dieser Strom besteht aus „strahlender“ Materie, trotzdem der Grad der Luftverdünnung nur gering ist. Die Theilchen bewegen sich aber in geraden Linien, weil die ihnen mitgetheilte Geschwindigkeit gross ist, und dies ist drei Ursachen zuzuschreiben — der grossen elektrischen Dichte, der hohen Temperatur der kleinen Stelle und der Thatsache, dass die Theilchen des Kalkes leicht abgerissen und fortgeschleudert werden, weit leichter als diejenigen der Kohle. Bei den von uns erreichbaren Frequenzen werden die Theilchen wirklich abgerissen und bis zu einer erheblichen Entfernung fortgeschleudert; bei genügend hohen Frequenzen aber würde etwas derartiges nicht vorkommen; in solchem Falle würde sich durch die Birne nur eine gewisse elastische Spannung ausbreiten oder eine Schwingung fortpflanzen. Es würde nicht die Rede davon sein, eine solche Frequenz zu erreichen, falls man annimmt, dass sich die Atome mit der Geschwindigkeit des Lichtes bewegen; dies ist aber meiner Ansicht nach unmöglich; dazu würde eine ungeheure Spannung erforderlich sein. Bei Spannungen, wie wir sie nur, selbst mit einer Spule für disruptive Entladung, erhalten können, muss die Geschwindigkeit ganz unbedeutend sein.

Was das „nicht zu durchschlagende“ Vakuum betrifft, so ist zu bemerken, dass dasselbe nur bei Impulsen geringer Frequenz auftreten kann und nur durch die Unmöglichkeit bedingt ist, mit solchen Impulsen in einem hohen Vakuum genügend Energie fortzuführen, da die wenigen Atome, welche sich um die Elektrode herum befinden, nachdem sie mit derselben in Berührung gekommen sind, zurückgestossen und eine verhältnissmässig lange Zeit hindurch von ihr entfernt gehalten werden und nicht genug Arbeit geleistet werden kann, um die Wirkung dem Auge wahrnehmbar zu machen. Wenn die Spannungsdifferenz zwischen den Polen gesteigert wird, wird das Dielektrikum durchschlagen. Bei Impulsen von sehr hoher Frequenz aber ist keine Nothwendigkeit für ein solches Durchschlagenwerden vorhanden, da durch die beständige Hin- und Herbewegung der Atome in dem luftleeren Gefäss jeder beliebige Arbeitsbetrag geleistet werden kann, vorausgesetzt immer, dass die Fre-

quenz auch hoch genug ist. Man kann leicht — auch mit Frequenzen, wie man sie mit einer Wechselstrommaschine von der hier benutzten Art erhalten kann — ein Stadium erreichen, in welchem die Entladung zwischen zwei Elektroden in einer engen Röhre, von denen jede mit einer der Klemmen der Spule verbunden ist, nicht übergeht, es ist aber schwer, einen Punkt zu erreichen, bei welchem eine leuchtende Entladung um jede Elektrode nicht auftreten würde.

Ein Gedanke, der einem beim Arbeiten mit Strömen von hoher Frequenz leicht kommt, ist der, ihre kräftige elektrodynamische Induktionswirkung zur Erzeugung von Lichteffekten in einer zugeschmolzenen Glaskugel zu benutzen. Der Einführungsdraht ist einer der schwachen Punkte der gegenwärtigen Glühlampen, und wenn auch keine andere Verbesserung gemacht würde, sollte wenigstens diese Unvollkommenheit beseitigt werden. Im Verfolg dieses Gedankens habe ich nach verschiedenen Richtungen hin Versuche angestellt, von denen ich einige in meinem früheren Vortrage angeführt habe. Ich will hier nur eine oder zwei weitere Versuchsrichtungen erwähnen, nach denen hin ich nachher gearbeitet habe.

Einige Birnen waren in der in den Fig. 161 und 162 dargestellten Weise konstruirt.

In Fig. 161 ist eine weite Röhre T mit einer engeren W-förmigen Röhre U aus phosphorescirendem Glase verschmolzen. In die Röhre T war eine Spule C aus Aluminiumdraht gesetzt, deren Enden mit kleinen Aluminiumkugeln t und t_1 versehen waren und in die Röhre U hineinreichten. Die Röhre T war in eine Fassung eingesetzt, die eine Primärspule enthielt, durch welche in der Regel die Entladungen von Leydener Flaschen geleitet wurden, und das verdünnte Gas in der engen Röhre U wurde durch den in der Spule C inducirten hochgespannten Strom zu starkem Leuchten erregt. Bei Benutzung von Entladungen Leydener Flaschen zur Inducirung von Strömen in der Spule C erwies es sich als nothwendig, die Röhre T dicht mit isolirendem Pulver auszufüllen, da sonst zwischen den Windungen der Spule oft eine Entladung stattfinden würde, besonders wenn die primäre Spule dick und die Luftstrecke, durch welche die Flaschen entladen werden, gross ist; es hat dies nicht wenig Störungen verursacht.

In Fig. 162 ist eine andere Form der Birne dargestellt. In diesem Falle ist eine Röhre T mit einer Kugel L verschmolzen. Die Röhre enthält eine Spule C, deren Enden durch zwei kleine Glasröhren t und t_1 hindurchgehen, welche an die Röhre T angeschmolzen sind. Auf Lampenfäden, welche an den Enden der durch die Glasröhren t und t_1 hindurchgehenden Drähte befestigt sind, sind zwei feuerbeständige Knöpfe m und m_1

angebracht. In der Regel kommunicirte in den nach diesem Plane hergestellten Birnen die Kugel L mit der Röhre T. Zu diesem Zwecke wurden die Enden der kleinen Röhren t und t_1 in einem Gasbrenner ein wenig erwärmt, bloss damit sie die Drähte halten, aber ohne dadurch die Kommunikation zu beeinträchtigen. Die Röhre T mit den kleinen Röhren, den durch diese hindurchgehenden Drähten und den feuerbeständigen Knöpfen m und m_1 wurde erst fertig gestellt und dann mit der Kugel L verschmolzen, worauf die Spule C hineingesteckt und die Verbindungen mit ihren Enden hergestellt wurden. Die Röhre wurde dann mit isolirendem

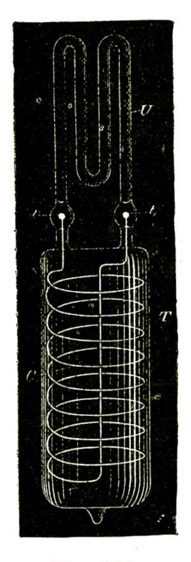


Fig. 161.

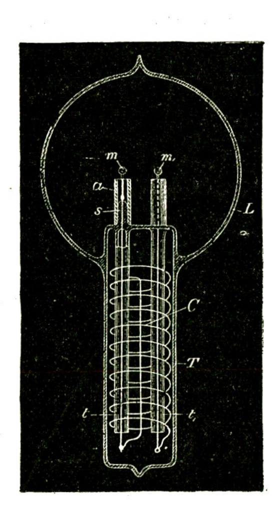


Fig. 162.

Pulver ausgefüllt, wobei dasselbe so dicht als möglich bis nahe an den Rand festgestampft wurde; die Röhre wurde dann geschlossen und nur eine kleine Oeffnung gelassen, durch welche der Rest des Pulvers eingeführt wurde, und schliesslich wurde das Ende der Röhre verschlossen. In der Regel war bei den Birnen, welche nach Art der in Fig. 162 dargestellten konstruirt waren, eine Aluminiumröhre a an dem oberen Ende s jeder der beiden Röhren t und t_1 befestigt, um dieses Ende gegen die Wärme zu schützen. Die Knöpfe m und m_1 konnten zu jedem beliebigen Glühgrade gebracht werden, wenn man die Entladungen von Leydener Flaschen durch die Spule C hindurchgehen liess. Eine sehr merkwürdige Wirkung wird bei solchen Birnen mit zwei Knöpfen durch die Bildung von Schatten jedes der beiden Knöpfe hervorgebracht.

Bei einer andern Versuchsreihe, die ich angestellt habe, beabsichtigte ich, in einer evakuirten Röhre oder Birne durch elektrodynamische Induktion einen Strom oder eine leuchtende Entladung zu erzeugen. Dieser Gegenstand hat bereits unter den Händen von Prof. J. J. Thomson eine so geschickte Behandlung erfahren, dass ich zu dem, was er darüber veröffentlichte, nur wenig hinzufügen könnte, selbst wenn es den besonderen Gegenstand dieses Vortrages bildete. Trotzdem muss ich hier diesem Gegenstande einige Worte widmen, da mich Versuche in dieser Richtung allmählich zu den gegenwärtigen Ansichten und Resultaten geführt haben.

Ohne Zweifel haben schon viele die Bemerkung gemacht, dass, in dem Maasse wie die Länge einer Vakuumröhre zunimmt, die elektromotorische Kraft per Längeneinheit der Röhre, welche nothwendig ist, um eine leuchtende Entladung durch die letztere hindurchzuschicken, beständig kleiner wird; daher könnte, wenn die evakuirte Röhre lang genug gemacht würde, auch mit niedrigen Frequenzen in einer solchen in sich geschlossenen Röhre eine leuchtende Entladung inducirt werden. Würde eine solche Röhre an den Wänden oder an der Decke eines Saales angebracht, so erhielte man eine einfache Vorrichtung, welche ein beträchtliches Licht zu geben vermöchte. Aber diese Vorrichtung würde schwer herzustellen und ausserordentlich unhandlich sein. Es würde auch nichts helfen, wenn man die Röhre aus kleinen Längen zusammensetzte, weil bei gewöhnlichen Frequenzen ein erheblicher Verlust in den Belegungen stattfinden würde, und überdies würde es bei der Anwendung von Belegungen besser sein, den Strom durch Verbindung der Belegungen mit einem Transformator direkt an die Röhre zu liefern. Aber selbst wenn alle derartigen Einwände beseitigt wären, würde, wie ich vorher bemerkte, die Umwandlung in Licht bei niedrigen Frequenzen ungünstig sein. Bei Verwendung ausserordentlich hoher Frequenzen kann die Länge der sekundären Spule, mit andern Worten die Grösse des Gefässes, so weit man will, reducirt werden und zu gleicher Zeit wird der Wirkungsgrad der Lichtumwandlung vergrössert, vorausgesetzt, dass Mittel erfunden werden, um solche hohen Frequenzen in praktischer Weise zu erhalten. So wird man also durch praktische und theoretische Erwägungen dahin geführt, hohe Frequenzen und demzufolge hohe elektromotorische Kräfte und geringe Ströme in der primären Spule zu benutzen. Arbeitet man mit Kondensatorladungen — und dies sind die einzigen bis heute bekannten Hülfsmittel zur Erzielung solcher ausserordentlich hohen Frequenzen —, so erhält man elektromotorische Kräfte bis zu mehreren Tausend Volt per Windung der primären Spule. Die elektrodynamische Induktionswirkung

können wir durch Vermehrung der Windungen in der primären Spule nicht vervielfachen, denn wir kommen zu dem Schlusse, dass es am besten ist, bloss mit einer einzigen Windung zu arbeiten — obwohl man manchmal von dieser Regel abgehen muss —, und müssen sehen, wie wir mit der induktiven Wirkung, die man mit einer Windung erhalten kann, weiter kommen. Ohne dass man jedoch lange mit den ausserordentlich hohen Frequenzen, die erforderlich sind, um in einer kleinen Birne eine elektromotorische Kraft von mehreren Tausend Volt zu erzeugen, zu experimentiren braucht, erkennt man die grosse Bedeutung der elektrostatischen Wirkungen, und diese Wirkungen nehmen im Verhältniss zu den elektrodynamischen an Bedeutung zu, sobald die Frequenz vergrössert wird.

Nun ist aber gerade die Erhöhung der Frequenz das, worauf es in diesem Falle besonders ankommt, und damit würde es um die elektrodynamischen Wirkungen um so schlimmer stehen. Andererseits ist es leicht, die elektrostatische Wirkung beliebig zu erhöhen, indem man mehr Windungen in der sekundären Spule anwendet oder Selbstinduktion und Kapacität zur Steigerung der Spannung mit einander kombinirt. Man hat ferner zu bedenken, dass, wenn der Strom auf den kleinsten Werth reducirt und die Spannung erhöht wird, die elektrischen Impulse hoher Frequenz leichter durch einen Leiter übertragen werden können.

Diese und andere Gedanken bestimmten mich, den elektrostatischen Erscheinungen mehr Aufmerksamkeit zu widmen und dahin zu streben, möglichst hohe Spannungen zu erzeugen und dieselben so schnell wie möglich alterniren zu lassen. Ich fand dann, dass ich Vakuumröhren in beträchtlicher Entfernung von einem mit einer passend konstruirten Spule verbundenen Leiter erregen und durch Umwandlung des oscillirenden Stromes eines Leiters auf eine höhere Spannung elektrostatische alternirende Felder herstellen konnte, welche über die ganze Ausdehnung des Zimmers wirkten und eine Röhre zum Leuchten brachten, wo immer dieselbe auch in dem betreffenden Raume sich befinden mochte. Es schien mir, als ob ich einen Schritt weiter gekommen wäre und verharrte auf diesem Wege; indessen möchte ich bemerken, dass ich mit allen Liebhabern der Wissenschaft und des Fortschrittes nur von dem einen und einzigen Wunsche mich leiten liess, auf jedem Wege, auf den mich Ueberlegung oder Versuch führten, ein der Menschheit nützliches Resultat zu erreichen. Ich glaube, dass mein Ausgangspunkt der rechte ist, denn ich vermag aus der Beobachtung der Erscheinungen, welche bei Erhöhung der Frequenz zu Tage treten, nicht zu ersehen, was anders zwischen zwei Stromkreisen, die beispielsweise Impulse von einigen Hundert Millionen per Sekunde fortleiten, noch wirken sollte, wenn nicht elektro-

statische Kräfte. Auch bei so geringen Frequenzen würde die Energie praktisch ganz potentielle Energie sein, und ich bin fest überzeugt, dass, welcher Art von Bewegung auch immer das Licht zuzuschreiben sein möge, dasselbe doch durch ungeheure elektrostatische Spannungen, die mit ausserordentlicher Geschwindigkeit vibriren, hervorgebracht wird.

Von allen diesen bei Strömen oder elektrischen Impulsen hoher Frequenz beobachteten Erscheinungen sind sicher für die Zuschauer diejenigen die fesselndsten, welche in einem elektrostatischen durch beträchtliche Entfernung wirkenden Felde beobachtet werden, und das beste, was der Vortragende thun kann, ist, mit der Vorführung dieser merkwürdigen Effekte zu beginnen und zu schliessen. Ich nehme eine Röhre in meine Hand und bewege sie umher; sie leuchtet, wohin ich sie auch halte; die unsichtbaren Kräfte wirken durch den ganzen Raum. Ich nehme eine andere Röhre; dieselbe leuchtet nicht, da das Vakuum sehr hoch ist. Errege ich sie aber mittels einer disruptiven Entladungsspule, so leuchtet sie auf in dem elektrostatischen Felde. Ich kann sie einige Wochen oder Monate bei Seite legen, und doch behält sie die Fähigkeit, erregt zu werden, bei. Welche Aenderung habe ich durch den Akt der Erregung in der Röhre hervorgerufen? Ist den Atomen eine Bewegung mitgetheilt worden, so ist schwer zu begreifen, wie dieselbe so lange andauern kann, ohne durch Reibungsverluste zum Aufhören gebracht zu werden; und wenn in dem Dielektrikum ein gewisser Spannungszustand hergestellt ist, wie er z. B. durch eine einfache Elektrisirung erzeugt werden würde, so ist zwar leicht zu sehen, warum derselbe unendlich lange andauern kann, aber es ist sehr schwer zu begreifen, warum ein solcher Zustand die Erregung unterstützen sollte, wenn man es mit rasch wechselnden Spannungen zu thun hat.

Seit der Zeit, wo ich diese Erscheinungen zum ersten Male vorführte, habe ich einige andere interessante Wirkungen beobachtet. Z. B. habe ich einen in eine Röhre eingeschlossenen Knopf, Faden oder Draht zum Glühen gebracht. Um zu diesem Resultate zu gelangen, war es nothwendig, die vom Felde erhaltene Energie zusammenzuhalten und den grössten Theil derselben auf den kleinen glühend zu machenden Körper zu lenken. Anfangs erschien das Unternehmen schwierig, aber die gesammelten Erfahrungen liessen mich leicht zum Ziele gelangen. In Fig. 163 und 164 sind zwei solche Röhren abgebildet, wie sie bei dieser Gelegenheit hergestellt wurden. In Fig. 163 ist eine kurze Röhre T_1, die mit einer andern langen Röhre T zusammengeschmolzen ist, mit einem Stiele s versehen, in welchen ein Platindraht eingeschmolzen ist. An diesem Drahte ist ein sehr dünner Lampenfaden l

befestigt und die Verbindung nach aussen ist durch einen dünnen Kupferdraht w hergestellt. Die Röhre ist innen und aussen mit Belegungen C resp. C_1 versehen und, soweit die Belegungen reichen, mit leitendem und der Raum darüber mit isolirendem Pulver ausgefüllt. Diese Belegungen sind nur angewendet, um zwei Versuche mit der Röhre ausführen zu können, nämlich um die beabsichtigte Wirkung entweder durch direkte Verbindung des Körpers des Experimentators oder eines andern Körpers mit dem Drahte w oder durch Induktion durch das Glas hindurch hervorzubringen. Der Stiel s ist mit einer Aluminiumröhre a zu dem bereits früher dargelegten Zwecke versehen, und nur ein kleiner Theil des Fadens reicht aus dieser Röhre heraus. Hält man die Röhre T_1 irgend wohin in dem elektrostatischen Felde, so wird der Kohlenfaden glühend.

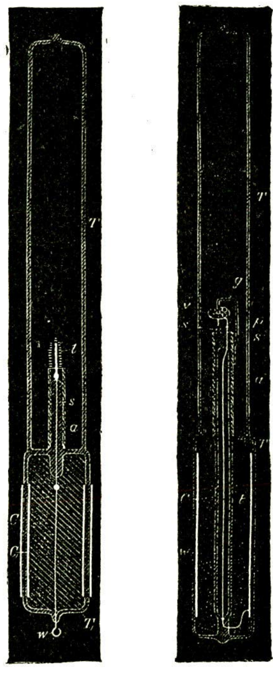


Fig. 163. Fig. 164.

Ein interessanterer Apparat ist in Fig. 164 abgebildet. Die Konstruktion ist dieselbe wie vorher, nur ist an Stelle des Lampenfadens ein kleiner in einen Stiel s eingeschmolzener und oben zu einem Kreise gebogener Platindraht p mit dem Kupferdraht w verbunden, welcher mit einer inneren Belegung C in Verbindung ist. Ein kleiner Stiel s_1 ist mit einer Nadel versehen, an deren Spitze ein sehr leichter Glimmerflügel v frei drehbar angeordnet ist. Um zu verhüten, dass der Flügel herabfällt, ist ein dünner Glasstiel g passend gebogen und an der Aluminiumröhre befestigt. Wird die Glasröhre an irgend eine Stelle in dem elektrostatischen Felde gehalten, so wird der Platindraht glühend und der Glimmerflügel sehr schnell rotirt.

In einer Glasbirne kann durch blosse Verbindung derselben mit einer innerhalb des Feldes befindlichen Platte intensive Phosphorescenz erregt werden, wobei die Platte nicht grösser zu sein braucht als ein gewöhnlicher Lampenschirm. Die mit diesen Strömen erregte Phosphorescenz ist unvergleichlich kräftiger als bei gewöhnlichen Apparaten. Eine kleine phosphorescirende Birne, die an einem mit einer Spule verbundenen Draht befestigt ist, sendet hinreichend Licht aus, um gewöhnlichen Druck auf eine Entfernung von fünf bis sechs Schritt lesen zu

können. Es war interessant zu sehen, wie sich einige der phosphorescirenden Birnen von Professor Crookes bei diesen Strömen verhalten würden, und der Genannte hatte die Liebenswürdigkeit, mir einige zu diesem Zwecke zu leihen. Die erzeugten Wirkungen sind prachtvoll, insbesondere wegen des Kalciumsulphids und Zinksulphids. Wendet man die Spule für disruptive Entladung an, so glühen sie intensiv, wenn man sie bloss in der Hand hält und den Körper mit der Klemme der Spule verbindet.

Zu welchen Ergebnissen auch immer Untersuchungen dieser Art führen werden, gegenwärtig liegt ihr Hauptinteresse in den Aussichten, welche sie bezüglich der Schaffung eines leistungsfähigen Beleuchtungsmittels eröffnen. In keinem Zweige der elektrischen Industrie ist ein Fortschritt wünschenswerther als in der Lichterzeugung. Jeder Forscher, der die rohen Methoden, welche zur Lichterzeugung verwendet werden, und die bedauerlichen Verluste, welche bei unsern besten Systemen zu diesem Zwecke eintreten, betrachtet, muss sich gefragt haben: Welches wird voraussichtlich das Licht der Zukunft sein? Wird es ein glühender fester Körper, wie bei der jetzigen Lampe oder ein glühendes Gas oder ein phosphorescirender Körper oder etwas einer Gasflamme ähnliches aber unvergleichlich wirkungsvolleres sein?

Die Aussichten für eine Vervollkommnung des Gasbrenners sind gering, nicht sowohl deshalb, weil Jahrhunderte hindurch menschlicher Scharfsinn auf dieses Problem verwandt worden ist, ohne dass eine radikale Verbesserung gemacht worden wäre — obwohl auch dies ein starkes Argument ist —, sondern weil bei einem Gasbrenner die höchsten Schwingungszahlen niemals erreicht werden können, ohne dass man erst durch alle niedrigeren hindurchgehen muss. Denn wie soll eine Flamme fortbestehen, wenn nicht durch das Herabsinken gehobener Gewichte? Ein solcher Process kann nicht ohne Erneuerung unterhalten werden, und die Erneuerung geschieht durch den Uebergang von geringen zu hohen Schwingungsperioden. Nur auf einem Wege scheint die Verbesserung eines Gasbrenners möglich zu sein, nämlich dadurch, dass man versucht, höhere Glühgrade zu erreichen. Höheres Glühen ist einer schnelleren Schwingung äquivalent; diese hat mehr Licht aus dem gleichen Material zur Folge und dieses wiederum bedeutet eine grössere Ersparniss. In dieser Richtung sind einige Verbesserungen gemacht worden, aber der Fortschritt wird durch mancherlei Schranken gehemmt. Sieht man also von der Gasflamme ab, so bleiben die drei erst erwähnten Wege übrig, die wesentlich elektrischer Natur sind.

Angenommen, dass das Licht der unmittelbaren Zukunft ein fester Körper sei, der durch Elektricität glühend gemacht werde, sollte man

da nicht glauben, dass es besser sei, einen kleinen Knopf anzuwenden anstatt einen zerbrechlichen Kohlenfaden? Aus vielen Erwägungen ist mit Sicherheit zu schliessen, dass sich mit einem Knopfe eine höhere Oekonomie erzielen lässt, vorausgesetzt natürlich, dass die mit dem Betriebe einer solchen Lampe verbundenen Schwierigkeiten erfolgreich überwunden sind. Um eine solche Lampe zum Leuchten zu bringen, bedürfen wir aber einer hohen Spannung, und um diese ökonomisch zu erhalten, müssen wir hohe Frequenzen anwenden.

Derartige Erwägungen sind in noch höherem Maasse auf die Erzeugung von Licht durch das Glühen eines Gases oder durch Phosphorescenz anwendbar. In allen Fällen haben wir hohe Frequenzen und hohe Spannungen nöthig. Diese Gedanken habe ich schon vor langer Zeit gehabt.

Nebenbei gewinnen wir durch die Verwendung hoher Frequenzen manche Vortheile, wie z. B. eine höhere Oekonomie in der Lichterzeugung, die Möglichkeit, mit einer Leitung zu arbeiten, die Möglichkeit, den Einführungsdraht wegzulassen, u. s. w.

Die Frage ist, wie weit können wir mit den Frequenzen gehen? Gewöhnliche Leiter verlieren rasch die Fähigkeit, elektrische Impulse zu übertragen, wenn die Frequenz erheblich vergrössert wird. Angenommen, die Hülfsmittel zur Erzeugung von Impulsen von sehr grosser Frequenz seien zur äussersten Vollkommenheit gebracht, dann wird natürlich jeder fragen, wie man diese Impulse, wenn die Nothwendigkeit sich ergiebt, übertragen könne. Bei der Uebertragung solcher Impulse durch Leiter müssen wir uns erinnern, dass wir es mit der Spannung und dem Strome, in der gewöhnlichen Bedeutung dieser Ausdrücke, zu thun haben. Lässt man die Spannung zu einem enormen Werthe wachsen und den Strom entsprechend abnehmen, dann können solche Impulse — gewissermassen nur Aenderungen der Spannung — ohne Zweifel durch einen Draht übertragen werden, auch wenn ihre Frequenz viele hundert Millionen in der Sekunde betrüge. Es würde natürlich nicht davon die Rede sein, dass man solche Impulse durch einen in einem gasförmigen Medium befindlichen Draht, selbst wenn der Draht mit einer dicken und ausgezeichneten Isolation versehen ist, übertragen könnte, da der grösste Theil der Energie in dem molekularen Bombardement und der daraus folgenden Erwärmung verloren gehen würde. Das an die Stromquelle angeschlossene Ende des Drahtes würde erwärmt werden und das entfernte Ende würde nur einen sehr unbedeutenden Theil der zugeführten Energie empfangen. Es ist daher, wenn solche elektrischen Impulse benutzt werden sollen, vor allen Dingen nothwendig,

Mittel ausfindig zu machen, um die Streuung so viel wie möglich zu reduciren.

Der erste Gedanke ist, einen möglichst dünnen Draht mit möglichst dicker Isolation zu verwenden. Der nächste Gedanke ist, elektrostatische Schirme zu benutzen. Die Isolation des Drahtes kann mit einem dünnen leitenden Ueberzuge bedeckt und der letztere mit der Erde verbunden werden. Aber dies wäre nicht angängig, da dann die gesammte Energie durch den leitenden Ueberzug zur Erde gehen und keine bis zum Ende des Drahtes gelangen würde. Wenn eine Erdverbindung hergestellt wird, so kann dies nur durch einen Leiter, der einen enormen scheinbaren Widerstand besitzt, oder durch einen Kondensator von äusserst geringer Kapacität geschehen. Hierdurch werden jedoch andere Schwierigkeiten nicht beseitigt.

Wenn die Wellenlänge der Impulse viel kleiner ist als die Länge das Drahtes, dann werden in dem leitenden Ueberzuge entsprechende kurze Wellen erzeugt und die Sache würde mehr oder weniger dieselbe sein, als ob der Ueberzug direkt mit der Erde verbunden wäre. Es ist daher nothwendig, den Ueberzug in Abschnitte zu zerschneiden, die viel kürzer sind als die Wellenlänge. Eine solche Anordnung bietet zwar noch keinen vollkommenen Schirm dar, sie ist aber viele tausendmal besser als gar keiner. Ich halte es für besser, den leitenden Ueberzug auch dann in kleine Abschnitte zu zerlegen, wenn die Stromwellen viel länger sind als der Ueberzug.

Wäre ein Draht mit einem vollkommenen elektrostatischen Schirm versehen, so würde das dasselbe sein, als ob alle Gegenstände in unendliche Entfernung von demselben gerückt wären. Die Kapacität würde dann auf die sehr geringe Kapacität des Drahtes selbst reducirt sein. Es würde dann möglich sein, über den Draht Stromschwingungen von sehr hoher Periodenzahl auf ungeheure Entfernungen zu senden, ohne dass der Charakter der Schwingungen erheblich beeinträchtigt werden würde. Von einem vollkommenen Schirme kann natürlich nicht die Rede sein, ich glaube aber, dass mit einem solchen Schirme, wie ich ihn eben beschrieben habe, die Telephonie über den Atlantischen Ocean ausführbar sein würde. Wie ich mir die Sache vorstelle, würde der mit Guttapercha isolirte Draht mit einem dritten leitenden und in einzelne Abschnitte getheilten Ueberzuge zu versehen sein. Hierüber müsste wiederum eine Schicht Guttapercha oder eines andern Isolationsmaterials gelegt werden und über das ganze die Bewehrung. Solche Kabel aber dürften kaum hergestellt werden, denn in nicht zu langer Zeit werden Gedanken — ohne Drähte übertragen — die Erde durchzittern wie ein

Pulsschlag einen lebenden Organismus. Man muss sich wundern, dass bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntniss und der gewonnenen Erfahrungen bisher kein Versuch gemacht worden ist, den elektrostatischen oder magnetischen Zustand der Erde zu stören und dadurch, wenn nichts anderes, verständliche Zeichen auf Entfernungen zu übertragen.

Bei der Vorführung dieser Resultate ist es mein Hauptbestreben gewesen, auf neue Erscheinungen oder Eigenthümlichkeiten hinzuweisen und Gedanken vorzubringen, die, wie ich hoffe, als Ausgangspunkte für weitere Entdeckungen dienen werden. Es war mein Hauptwunsch heute Abend, Sie mit einigen neuen Versuchen zu unterhalten. Ihr Beifall, der mir so oft und in so reichem Maasse gezollt wurde, hat mir bewiesen, dass es mir gelungen ist.

Zum Schlusse danke ich Ihnen herzlich für Ihre Güte und Aufmerksamkeit und versichere Ihnen, dass ich die Ehre, vor einer so erlauchten Zuhörerschaft sprechen zu dürfen, und das Vergnügen, welches mir die Vorführung dieser Resultate vor einer Versammlung so vieler urtheilsfähiger Männer, an deren Werken zum Theil ich mich seit vielen Jahren ergötzte, heute Abend bereitet hat, niemals vergessen werde.“

---

28. Kapitel.

Ueber Licht- und andere Erscheinungen hoher Frequenz. *)

Einleitung. — Einige Betrachtungen über das Auge.

„Wenn wir die Welt um uns her, die Natur, betrachten, sind wir überwältigt von ihrer Schönheit und Grösse. Jedes Ding, welches wir wahrnehmen, mag es auch verschwindend klein sein, ist eine Welt für sich d. h. gleich dem ganzen Universum eine nach Gesetzen regierte Materie und Kraft — eine Welt, deren Betrachtung uns mit dem Gefühl der Bewunderung erfüllt und uns unwiderstehlich zu immerwährendem Nachdenken und Forschen anregt. Aber in dieser ganzen weiten Welt erscheint uns zweifellos von allen Gegenständen, die unsere Sinne uns offenbaren, als der wunderbarste und unsere Phantasie am meisten herausfordernde ein hoch entwickelter Organismus, ein denkendes Wesen. Wenn irgend etwas geeignet ist, uns zur Bewunderung der Werke der Natur

*) Vortrag, gehalten vor dem Franklin Institute, Philadelphia, im Februar 1893 und vor der National Electric Light Association, St. Louis, im März 1893.

hinzureissen, so ist es sicher dieses unbegreifliche Gefüge, welches seine unzähligen Bewegungen äusserem Einflusse gehorsam vollzieht. Das Getriebe desselben zu verstehen, eine tiefere Einsicht in dieses Meisterstück der Natur zu erhalten, war von jeher für die Denker ein reizvolles Ziel und nach vielen Jahrhunderten mühsamer Forschung gelangte der Mensch auch zu einer ziemlichen Erkenntniss der Funktionen seiner Organe und Sinne. In der ganzen vollkommenen Harmonie seiner Theile, der Theile, welche das Materielle oder Greifbare unseres Seins bilden, von allen seinen Organen und Sinnen ist wiederum das Auge das wundervollste. Es ist das kostbarste, das unentbehrlichste von unsern wahrnehmenden oder leitenden Organen, es ist die grosse Pforte, durch welche dem Geiste alle Erkenntniss kommt. Von allen unseren Organen ist es dasjenige, welches in der innigsten Beziehung zu dem steht, was wir Intellekt nennen. So innig ist diese Beziehung, dass man oft sagt, die ganze Seele spiegele sich in dem Auge.

Es kann als Thatsache, welche die Theorie der Wirkung des Auges in sich schliesst, betrachtet werden, dass für jeden äusseren Eindruck, d. h. für jedes auf der Netzhaut hervorgerufene Bild, die Enden der Sehnerven, welchen die Uebertragung des Eindruckes auf das Gehirn obliegt, unter einem besonderen elastischen Drucke oder in einem schwingenden Zustande sich befinden müssen. Es erscheint nun nicht unwahrscheinlich, dass, wenn durch die Macht der Vorstellung ein Bild hervorgerufen wird, eine deutliche, wenn auch noch so schwache Reflexwirkung auf gewisse Enden der Sehnerven und daher auf die Netzhaut ausgeübt wird. Wird es jemals dem Menschen möglich werden, den Zustand der durch Vorstellungen oder Reflexwirkung gestörten Netzhaut mit Hülfe optischer oder anderer Mittel von solcher Empfindlichkeit zu erforschen, dass man ein klares Bild dieses Zustandes zu irgend einer Zeit gewinnen könnte? Wäre dies möglich, so dürfte das Problem, Jemandes Gedanken mit Genauigkeit zu lesen, wie die Buchstaben eines aufgeschlagenen Buches, viel leichter zu lösen sein als viele in das Gebiet der positiven physikalischen Wissenschaft gehörige Probleme, an deren Lösung viele wenn nicht die Mehrzahl der Männer der Wissenschaft im Stillen glauben. Helmholtz hat gezeigt, dass der Hintergrund der Augen selbst leuchtend ist, und war im Stande, bei völliger Dunkelheit die Bewegung seines Armes durch das Licht seiner eigenen Augen zu sehen. Dies ist einer der bemerkenswerthesten Versuche, von denen die Geschichte der Wissenschaft berichtet, und es dürften wahrscheinlich nur wenige Menschen denselben befriedigend wiederholen können, da es sehr wahrscheinlich ist, dass das Leuchten der Augen mit einer ungewöhnlichen Thätigkeit des

Gehirns und grosser Einbildungskraft verbunden ist. Es ist gewissermassen ein Fluoresciren der Gehirnthätigkeit.

Eine andere auf diesen Gegenstand bezügliche Thatsache, die wahrscheinlich von vielen bemerkt worden ist, da von ihr im gewöhnlichen Leben oft gesprochen wird, die ich aber mich nicht entsinnen kann, je als positives Ergebniss der Beobachtung aufgezeichnet gefunden zu haben, ist die, dass zu Zeiten, wo dem Verstande ein plötzlicher Gedanke oder eine plötzliche Vorstellung kommt, eine deutliche und zuweilen schmerzhafte Lichtempfindung, die auch bei hellem Tageslicht wahrnehmbar ist, im Auge hervorgerufen wird.

Die Redensart ferner, dass die Seele sich im Auge spiegele, ist tief begründet und wir fühlen, dass sie eine grosse Wahrheit ausdrückt. Sie hat eine tiefe Bedeutung sogar für einen, der, wie ein Dichter oder Künstler, nur seiner angebornen Neigung oder Liebe zur Natur folgend an ziellosem Nachdenken oder an der blossen Betrachtung der Naturerscheinungen Gefallen findet, aber eine noch tiefere Bedeutung für einen, der im Geiste positiver wissenschaftlicher Forschung die Ursachen der Wirkungen festzustellen sucht. Es ist hauptsächlich der Naturforscher, der Physiker, für den das Auge der Gegenstand höchster Bewunderung ist.

Zwei das Auge betreffende Umstände müssen auf den Geist des Physikers einen besonderen Eindruck machen, trotzdem er vielleicht denken oder sagen mag, dass es ein unvollkommenes optisches Instrument ist, wobei er freilich vergisst, dass er gerade das Verständniss dessen, was vollkommen ist oder ihm zu sein scheint, durch dieses selbe Instrument gewonnen hat. Erstens ist das Auge, so weit unsere positive Kenntniss reicht, das einzige Organ, welches direkt von jenem subtilen Medium, welches, nach der Lehre der Wissenschaft, den ganzen Raum erfüllt, afficirt wird; zweitens ist es das empfindlichste unserer Organe, unvergleichlich empfindlicher für äussere Eindrücke als irgend ein anderes.

Das Gehörorgan hat den Anprall ponderabler Körper zur Voraussetzung, das Geruchsorgan die Uebertragung losgelöster materieller Theilchen und die Organe des Geschmackes und des Gefühls die direkte Berührung oder wenigstens irgend eine Vermittelung ponderabler Materie und dies gilt sogar von denjenigen Beispielen thierischer Organismen, bei welchen einige dieser Organe zu einem Grade von wahrhaft staunenswerther Vollkommenheit entwickelt sind. Unter diesen Umständen erscheint es wunderbar, dass das Gesichtsorgan allein fähig sein sollte, durch das gereizt zu werden, was alle unsere anderen Organe nicht zu

entdecken vermögen, und das doch eine wesentliche Rolle bei allen Naturerscheinungen spielt, welches alle Energie überträgt und alle Bewegung und, was das schwierigste von allem ist, das Leben erhält, das aber auch Eigenschaften besitzt, dass selbst ein wissenschaftlich geschulter Verstand nicht im Stande ist, einen Unterschied zwischen ihm und allem, was Materie genannt wird, anzugeben. Wenn man nur dies allein betrachtet, sowie die Thatsache, dass das Auge infolge seiner wunderbaren Fähigkeit unseren sonst sehr engen Gesichtskreis weit über die Grenzen der kleinen Welt, welche wir unser eigen nennen, erweitert, so dass wir Myriaden von andern Welten, Sonnen und Sternen in den unendlichen Tiefen des Universums wahrnehmen, so wird es gerechtfertigt erscheinen, wenn wir behaupten, dass es ein Organ von einer höheren Ordnung ist. Seine Verrichtungen gehen über unsere Fassungskraft hinaus. Die Natur hat, soweit wir wissen, nichts wundervolleres geschaffen. Wir können durch Untersuchung seiner Verrichtungen und durch Vergleichung kaum eine schwache Vorstellung von seiner ungeheuren Kraft gewinnen. Wenn Aetherwellen den menschlichen Körper treffen, so erzeugen sie die Empfindungen der Wärme oder Kälte, der Lust oder Unlust oder vielleicht noch andere Empfindungen, die wir nicht näher kennen, und einen gewissen Grad oder eine gewisse Stärke dieser Empfindungen, und da diese Grade unendlich an Zahl sind, unendlich viele verschiedene Empfindungen. Unser Gefühlssinn aber kann uns diese Unterschiede im Grade oder in der Intensität nicht offenbaren, wofern sie nicht sehr erheblich sind. Nun können wir uns leicht vorstellen, wie ein Organismus wie der menschliche in dem ewigen Entwickelungsprocess oder, philosophischer gesprochen, in der Anpassung an die Natur, wenn er auf den Gebrauch z. B. allein des Gefühlssinns angewiesen wäre, diesen Sinn zu einem so hohen Grade von Empfindlichkeit oder Vollkommenheit entwickeln könnte, dass er fähig wäre, die kleinsten Temperaturunterschiede eines Körpers selbst in einiger Entfernung bis auf ein Hundertstel oder Tausendstel oder Millionstel eines Grades zu unterscheiden. Und doch würde diese offenbar unmögliche Leistung in keiner Weise vergleichbar sein mit derjenigen des Auges, welches im Stande ist, unzählige Eigenthümlichkeiten des Körpers, sei es in der Form, der Farbe oder in anderer Beziehung in einem einzigen Augenblicke zu unterscheiden und nach dem Verstande zu übertragen. Diese Fähigkeit des Auges beruht auf zwei Dingen, nämlich der geradlinigen Fortpflanzung der Störung, durch welche es afficirt wird, und auf seiner Empfindlichkeit. Wenn man sagt, das Auge sei empfindlich, so sagt man damit fast nichts. Im Vergleich zu ihm sind alle andern Organe ungeheuer

roh. Das Riechorgan, welches einen Hund auf die Spur eines Hirsches führt, das Tastorgan, welches ein Insekt bei seinen Wanderungen leitet, das Hörorgan, weches durch die geringsten Störungen der Luft beeinflusst wird, sind sicherlich empfindliche Organe, aber was sind sie im Vergleich zum menschlichen Auge! Mit vollkommener Sicherheit spricht es an auf den schwächsten Wiederhall, die leisesten Erregungen des Mediums; mit vollkommener Sicherheit bringt es uns Nachrichten aus andern unendlich weit entfernten Welten, aber in einer Sprache, die wir nicht immer zu verstehen vermögen. Und warum nicht? Weil wir in einem Medium leben, welches mit Luft und andern Gasen, mit Dämpfen und einer dichten Masse herumfliegender fester Partikelchen erfüllt ist. Diese spielen bei vielen Erscheinungen eine wichtige Rolle; sie verzehren die Energie der Schwingungen, bevor sie das Auge erreichen können; sie sind ferner die Träger der Keime der Zerstörung, sie gelangen in unsere Lungen und andere Organe, verstopfen die Kanäle und halten unmerklich und doch unausbleiblich den Lebensstrom auf. Könnte man alle ponderable Materie in der Gesichtslinie des Teleskops beseitigen, es würde uns ungeahnte Wunder offenbaren. Auch das unbewaffnete Auge würde, glaube ich, fähig sein, im reinen Medium kleine Gegenstände in Entfernungen zu unterscheiden, die wahrscheinlich nach Hunderten oder vielleicht Tausenden von Meilen gemessen werden.

Es ist jedoch noch etwas anderes beim Auge, welches einen noch tieferen Eindruck auf uns macht, als die Eigenschaften, die wir bisher bemerkten, indem wir es vom Standpunkte des Physikers als ein rein optisches Instrument betrachteten, etwas, das mehr zu uns spricht, als seine wunderbare Fähigkeit, direkt und ohne Vermittelung grober Materie von den Schwingungen des Mediums erregt zu werden, und als seine unbegreifliche Empfindlichkeit und Unterscheidungskraft. Es ist seine Bedeutung für die Vorgänge des Lebens. Welche Ansichten man auch immer über Natur und Leben haben mag, man muss erstaunen, wenn man sich zum ersten Mal in seinem Geiste die Wichtigkeit des Auges bei den physikalischen Vorgängen und den Geistesverrichtungen des menschlichen Organismus vergegenwärtigt. Und wie könnte es anders sein, wenn man sich vorstellt, dass das Auge das Mittel ist, durch welches das Menschengeschlecht alles Wissen, das es besitzt, erworben hat, dass es alle unsere Bewegungen, ja noch mehr, alle unsere Handlungen kontrolirt.

Es giebt keinen Weg, sich Kenntnisse zu erwerben, als durch das Auge. Was ist die Grundlage aller philosophischen Systeme der alten und neuen Zeit, ja der ganzen Philosophie des Menschen? Ich bin, ich denke; ich denke, daher bin ich. Aber wie könnte ich denken

und wie könnte ich wissen, dass ich existire, wenn ich nicht das Auge hätte? Denn Wissen setzt Bewusstsein, Bewusstsein setzt Gedanken, Vorstellungen voraus; Vorstellungen haben Gemälde oder Bilder und Bilder den Gesichtssinn und daher das Sehorgan zur Voraussetzung. Aber wie steht es mit den Blinden, wird man fragen? Ja ein Blinder kann in herrlichen Gedichten Gestalten und Scenen aus dem wirklichen Leben schildern, von einer Welt sieht er im physikalischen Sinne nichts. Ein Blinder kann die Tasten eines Instrumentes mit unfehlbarer Sicherheit greifen, kann das schnellste Boot formen, kann entdecken und erfinden, berechnen und konstruiren, kann noch grössere Wunder verrichten — aber alle Blinden, welche derartiges geleistet haben, stammen von Menschen mit sehenden Augen ab. Die Natur kann dasselbe Resultat auf verschiedenen Wegen erreichen. Gleich einer Welle in der physikalischen Welt, in dem unendlichen Ocean des alles durchdringenden Mediums, so schreitet in der Welt der Organismen, im Leben, ein gegebener Anstoss weiter, manchmal mit der Geschwindigkeit des Lichtes, manchmal wieder so langsam, dass er auf Menschenalter hinaus stillzustehen scheint, indem er durch unbegreiflich verwickelte Processe zum Menschen gelangt, aber in allen seinen Formen und in allen Stadien seine Energie beständig vollständig beibehält. Ein einziger Lichtstrahl von einem fernen Sterne, der in das Auge eines Tyrannen in längst entschwundenen Zeiten fiel, kann den Lauf seines Lebens geändert, kann das Schicksal von Nationen beeinflusst, kann die Oberfläche der Erdkugel umgestaltet haben, so verwickelt, so unbegreiflich verschlungen sind die Vorgänge in der Natur. Auf keine Weise können wir eine so überwältigende Vorstellung von der Grösse der Natur erhalten, als wenn wir erwägen, dass in Uebereinstimmung mit dem Gesetze der Erhaltung der Energie durch den ganzen unendlichen Raum die Kräfte in vollkommenem Gleichgewicht sich befinden und daher die Energie eines einzigen Gedankens die Bewegung eines Universums bestimmen kann. Es ist nicht nothwendig, dass jedes Individuum, nicht einmal, dass jede Generation oder viele Generationen das physikalische Instrument des Sehens besitzen, um fähig zu sein, Bilder zu formen oder zu denken, d. h. Ideen oder Begriffe zu bilden, aber sicher muss zu der oder jener Zeit während des Entwickelungsprocesses das Auge existirt haben, sonst würde das Denken, wie wir es verstehen, unmöglich sein, sonst würden Begriffe, wie Geist, Intellekt, Verstand oder wie man es sonst nennen möge, nicht existiren. Es ist denkbar, dass in einer andern Welt bei andern Wesen das Auge durch ein anderes Organ von gleicher oder grösserer Vollkommenheit ersetzt ist, aber diese Wesen können keine Menschen sein.

Was reizt uns nun zu allen freiwilligen Bewegungen und Handlungen irgend welcher Art? Wiederum das Auge! Wenn ich mir der Bewegung bewusst bin, muss ich eine Vorstellung oder Empfindung d. h. ein Bild und daher das Auge haben. Wenn ich mir der Bewegung nicht genau bewusst bin, so ist dies deshalb, weil die Bilder verschwommen oder undeutlich sind, indem sie durch die Uebereinanderlagerung vieler verwischt werden. Wenn ich aber die Bewegung ausführe, kommt dann der Anstoss, welcher mich zu der Handlung treibt, von innen oder von aussen? Die grössten Physiker haben es nicht verschmäht, nach einer Antwort auf diese und ähnliche Fragen zu suchen, und haben sich zu Zeiten dem Vergnügen des reinen und uneingeschränkten Denkens hingegeben. Derartige Fragen wurden allgemein als nicht zum Gebiet der positiven physikalischen Wissenschaft gehörig betrachtet, es wird aber nicht lange dauern, dass sie in ihren Bereich gezogen werden. Helmholtz hat wahrscheinlich mehr über das Leben nachgedacht, als irgend ein anderer moderner Gelehrter. Lord Kelvin sprach seine Ansicht dahin aus, dass der Lebensprocess ein elektrischer Vorgang sei und dass es eine dem Organismus inhärente und seine Bewegungen bestimmende Kraft gäbe. In demselben Grade, wie ich von jeder physikalischen Wahrheit überzeugt bin, bin ich auch überzeugt, dass der Bewegungsimpuls von aussen kommen muss. Denn betrachten wir den niedrigsten Organismus, den wir kennen — und es giebt wahrscheinlich viele niedrigeren — einen Apparat von nur wenigen Zellen. Wenn derselbe freiwilliger Bewegung fähig ist, so kann er eine unendliche Anzahl von Bewegungen, die sämmtlich bestimmt und exakt sind, ausführen. Nun kann aber ein Mechanismus, der aus einer endlichen Anzahl von Theilen und obendrein aus nur wenigen besteht, nicht eine unendliche Anzahl bestimmter Bewegungen ausführen; demnach müssen die Impulse, welche seine Bewegungen bestimmen, aus der Umgebung kommen. So wird das Atom, das letzte Element des Weltgefüges, im Raume ewig herumgeworfen, ein Spiel äusserer Einflüsse, gleich einem Boot auf wogender See. Könnte man seine Bewegung anhalten, so würde es zu Grunde gehen. Ruhende Materie, wenn es etwas derartiges gäbe, würde todte Materie sein. Tod der Materie! Nie ist ein Ausspruch von tieferer philosophischer Bedeutung gethan worden. In dieser nachdrücklichen Weise sprach ihn Prof. Dewar bei der Beschreibung seiner bewunderungswerthen Versuche aus, bei denen er mit flüssigem Sauerstoff handtirte, wie man sonst mit Wasser handtirt, und Luft bei gewöhnlichem Drucke durch grosse Kälte kondensirte und sogar in den festen Zustand überführte, Versuche, die dazu dienen,

in ihrer Sprache die letzten schwachen Lebensäusserungen, das letzte Erzittern der Materie vor dem Tode zu erläutern. Menschenaugen sollen jedoch nicht Zeugen solchen Todes sein. Es giebt keinen Tod der Materie, denn im ganzen unendlichen Universum muss alles sich bewegen, schwingen, d. h. leben.

Ich habe die vorhergehenden Bemerkungen gemacht auf die Gefahr hin, den Boden der Metaphysik zu betreten, weil ich wünschte, den Gegenstand meines Vortrages in einer für das Auditorium, vor dem ich zu sprechen die Ehre habe, hoffentlich nicht ganz uninteressanten Weise einzuleiten. Nunmehr aber kehre ich wieder zu dem Gegenstand zurück. Dieses göttliche Sehorgan, dieses unentbehrliche Instrument für das Denken und für jeden geistigen Genuss, welches uns die Wunder des Universums offenbart, durch welches wir alles Wissen, das wir besitzen, erworben haben, welches uns zu jeder physischen und geistigen Thätigkeit anregt und dieselbe kontrolirt, wodurch wird es angeregt? Durch Licht! Was ist Licht?

Wir waren Zeuge der grossen Errungenschaften, welche auf allen Gebieten der Wissenschaft in neuerer Zeit gemacht worden sind. So gross waren die Fortschritte, dass wir uns nicht enthalten können zu fragen: Ist alles dieses wahr oder ist es nur ein Traum? Jahrhunderte lang haben Menschen gelebt, gedacht, entdeckt, erfunden und haben geglaubt, sie flögen davon, während sie nur im Schneckengange vorwärts kamen. So können auch wir uns täuschen. Wenn wir aber die Wahrheit der beobachteten Ereignisse als eine der stillschweigenden Voraussetzungen der Wissenschaft annehmen, so müssen wir uns freuen über die ungeheuren Fortschritte, die bereits gemacht worden sind, und noch mehr über das, was voraussichtlich kommen muss, wenn man nach den von der modernen Forschung eröffneten Möglichkeiten urtheilt. Es giebt jedoch eine Errungenschaft, die wir selbst miterlebt haben und die jeden Liebhaber des Fortschritts mit besonderer Befriedigung erfüllen muss. Es ist nicht eine Entdeckung oder Erfindung oder eine Vervollkommnung nach irgend einer besonderen Richtung; es ist ein Fortschritt nach allen Richtungen des menschlichen Denkens und Experimentirens. Ich meine die Verallgemeinerung der Naturkräfte und Naturerscheinungen, das Sichtbarwerden einer gewissen umfassenden Idee am wissenschaftlichen Horizont. Es ist diese Idee, welche allerdings schon lange die fortgeschrittensten Geister gefangen hält, auf welche ich Ihre Aufmerksamkeit lenken möchte und die ich Ihnen in allgemeiner Weise in diesen Versuchen als dem ersten Schritte zur Beantwortung der Frage: „Was ist Licht?“ zu erläutern gedenke, um die moderne Bedeutung dieses Wortes Ihnen klarzulegen.

Es liegt ausserhalb des Zieles meines Vortrages, den Gegenstand des Lichtes im Allgemeinen zu behandeln, vielmehr liegt es nur in meiner Absicht, gegenwärtig eine bestimmte Klasse von Lichtwirkungen und eine Anzahl von Erscheinungen, die beim Verfolg des Studiums dieser Wirkungen beobachtet wurden, Ihnen vorzuführen. Um jedoch in meinen Bemerkungen zusammenhängend zu bleiben, muss ich vorausschicken, dass nach jener Vorstellung, die jetzt von der Mehrzahl der Gelehrten als ein positives Resultat theoretischer und experimenteller Forschung angenommen ist, die verschiedenen Formen oder Aeusserungen der Energie, welche allgemein als „elektrisch" oder genauer „elektromagnetisch" bezeichnet werden, Energieäusserungen derselben Art wie diejenigen der strahlenden Wärme und des Lichtes sind. Daher können die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme und noch andere ausser diesen elektrische Erscheinungen genannt werden. Auf diese Weise ist die Elektricitätslehre die Mutterwissenschaft aller anderen Wissenschaften und das Studium derselben höchst wichtig geworden. Der Tag, an welchem wir genau wissen werden, was „Elektricität" ist, wird ein wahrscheinlich grösseres, wichtigeres Ereigniss zu verzeichnen haben, als es je in der Geschichte des Menschengeschlechts verzeichnet ist. Die Zeit wird kommen, wo das Wohlbefinden, ja vielleicht die ganze Existenz des Menschen, von diesem wunderbaren Agens abhängen wird. Zu unserer Existenz und unserem Wohlbefinden bedürfen wir der Wärme, des Lichts und mechanischer Kraft. Wie verschaffen wir nun uns alles dieses? Wir bekommen es aus der Feuerung, wir bekommen es durch den Verbrauch von Material. Was werden die Menschen anfangen, wenn die Wälder verschwunden, die Kohlenfelder erschöpft sind? Es wird nach unserer gegenwärtigen Kenntniss nur eins übrig bleiben, nämlich die Kraft auf grosse Entfernungen zu übertragen. Die Menschen werden zu den Wasserfällen, zu den Gezeiten gehen, welches die Vorrathskammern eines kleinen Theils der unermesslichen Energie der Natur sind. Dort werden sie die Energie auffangen und dieselbe nach ihren Wohnungen übertragen, um ihre Häuser zu erwärmen, ihnen Licht zu spenden und ihre gehorsamen Sklaven, die Maschinen, in Thätigkeit zu erhalten. Aber wie sollen sie diese Energie übertragen, wenn nicht durch Elektricität? Man urtheile also selbst, ob nicht dann die Behaglichkeit, ja die ganze Existenz des Menschen von der Elektricität abhängen wird. Ich bin mir wohlbewusst, dass diese Ansicht nicht die eines praktischen Ingenieurs ist, aber sie ist auch nicht die eines Phantasten, denn es ist sicher, dass die Kraftübertragung, welche gegenwärtig nur ein Anreiz zu Unternehmungen ist, eines Tages eine zwingende Nothwendigkeit werden wird.

Es ist für den Studirenden, welcher das Studium der Lichterscheinungen beginnt, wichtiger, sich mit gewissen modernen Anschauungen vollständig vertraut zu machen, als ganze Bücher über den Gegenstand des Lichtes ohne Zusammenhang mit diesen Anschauungen durchzulesen. Hätte ich also diese Demonstrationen vor Belehrung suchenden Studirenden zu halten — und im Interesse der wenigen, die hier vielleicht zugegen sind, möge mir diese Annahme erlaubt sein —, so würde es mein eifrigstes Bestreben sein, bei den hier vorzuführenden Versuchen diese Anschauungen ihrem Geiste einzuprägen.

Es könnte für diesen Zweck genügen, ein einfaches und wohlbekanntes Experiment anzustellen. Ich könnte einen bekannten Apparat, eine Leydener Flasche, nehmen, dieselbe mit einer Reibungsmaschine laden und dann entladen. Wenn ich Ihnen den permanenten Zustand derselben nach der Ladung und den Uebergangszustand während der Entladung auseinandersetzte, dann Ihre Aufmerksamkeit auf die dabei ins Spiel tretenden Kräfte und die verschiedenen durch sie hervorgerufenen Erscheinungen lenkte und die Beziehung zwischen den Kräften und den Erscheinungen andeutete, so würde es mir vollständig gelingen, jene moderne Anschauung darzulegen. Ohne Zweifel würde dieser einfache Versuch den Denker ebenso sehr anregen wie die glänzendste Vorstellung. Indessen soll dies ja ein Experimentalvortrag sein, der ausser zur Belehrung auch zur Unterhaltung dienen soll, und ein einfacher Versuch wie der eben erwähnte würde nicht viel zur Erreichung des Zieles, welches ich mir gesteckt habe, beitragen. Ich muss daher einen andern Weg der Auseinandersetzung wählen, der allerdings mehr theatralisch, darum aber vielleicht nicht wenig lehrreich ist. Anstatt der Reibungsmaschine und der Leydener Flasche werde ich mich bei diesen Versuchen einer Induktionsspule von besonderen Eigenschaften bedienen, die ich ausführlich in einem Vortrage vor der Londoner Institution of Electrical Engineers im Februar 1892 beschrieben habe. Diese Induktionsspule vermag Ströme von enormen Spannungsdifferenzen, die mit ausserordentlicher Schnelligkeit sich ändern, zu liefern. Mit diesem Apparate will ich Ihnen drei verschiedene Klassen von Wirkungen oder Erscheinungen vorführen und ich werde die Sache so einzurichten suchen, dass jeder Versuch nicht bloss dem Zwecke der Erläuterung dient, sondern zugleich uns auch irgend eine neue Wahrheit lehrt oder uns diese bezaubernde Wissenschaft von einer neuen Seite zeigt. Bevor ich dies aber thue, scheint es mir zweckmässig und nützlich, zunächst die angewendeten Apparate und die Methode zur Erzeugung der Ströme von so hohen Spannungen und Frequenzen, wie ich sie bei diesen Versuchen benutzt habe, zu behandeln.

Ueber die Apparate und die Methode der Umwandlung.

Diese Ströme von hoher Frequenz werden auf eine besondere Art erhalten. Die angewendete Methode wurde von mir vor etwa zwei Jahren

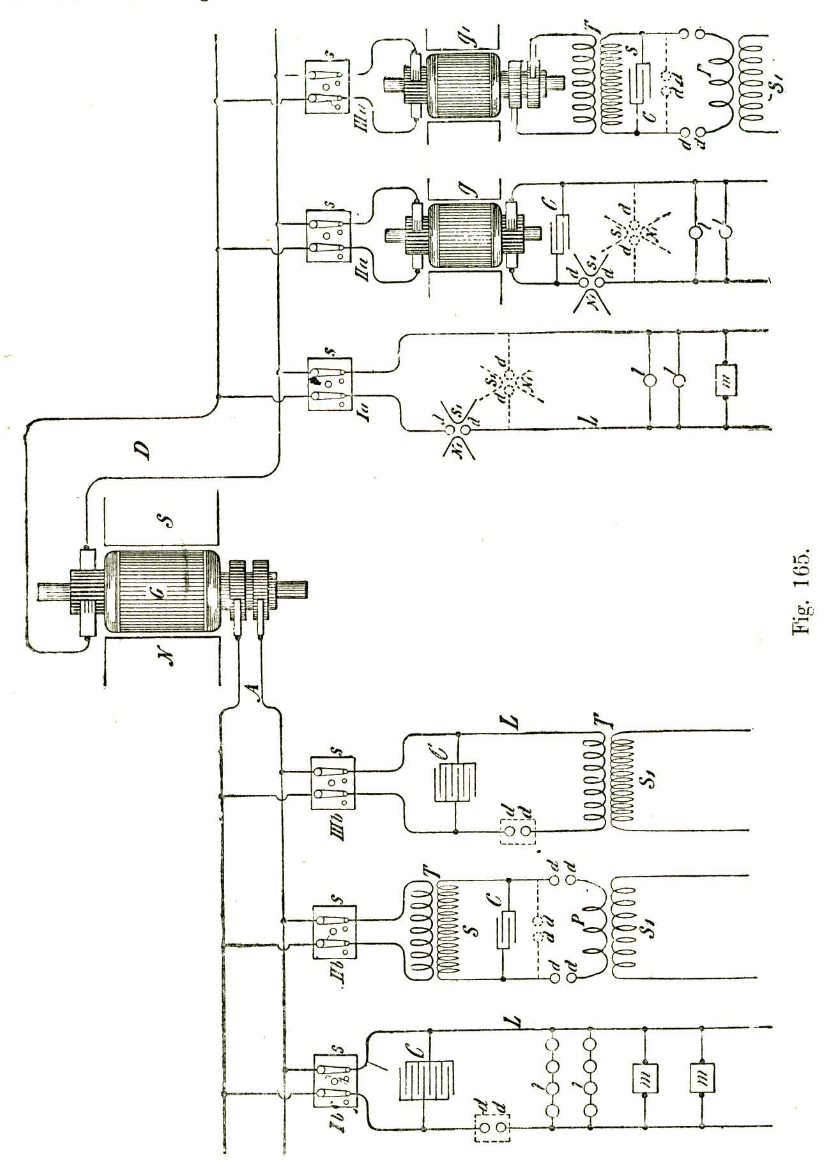


Fig. 165.

in einem Experimentalvortrag vor dem American Institute of Electrical Engineers angegeben. Eine Reihe von Methoden, wie sie im Laboratorium

angewendet wurden, um diese Ströme entweder aus Gleichströmen oder aus Wechselströmen von geringer Frequenz zu erhalten, ist schematisch in Fig. 165 angedeutet, und dieselben werden später im einzelnen beschrieben werden. Der allgemeine Plan dabei ist der, aus einer Gleich- oder Wechselstromquelle, am besten von hoher Spannung, Kondensatoren zu laden und disruptiv zu entladen, wobei die bekannten Bedingungen innezuhalten sind, die erforderlich sind, die Oscillationen des Stromes zu erhalten. Mit Rücksicht auf das allgemeine Interesse, welches man den Strömen hoher Frequenz und den mit ihnen hervorzubringenden Wirkungen widmet, erscheint es mir zweckmässig, diese Umwandlungsmethode etwas ausführlicher darzulegen.

Um Ihnen eine klare Vorstellung von dem Vorgange zu geben, will ich annehmen, dass ein Gleichstromgenerator verwendet wird, was oft sehr bequem ist. Es ist erwünscht, dass der Generator eine so hohe Spannung besitzt, dass er im Stande ist, einen kleinen Luftraum zu durchschlagen. Ist dies nicht der Fall, so muss man zu gewissen Hülfsmitteln seine Zuflucht nehmen, deren einige in der Folge angedeutet werden sollen. Sind die Kondensatoren bis zu einem gewissen Potential geladen, so giebt die Luft oder der isolirende Zwischenraum nach und es erfolgt eine disruptive Entladung. Es findet alsdann ein plötzlicher Stromstoss statt und es geht dabei im Allgemeinen ein grosser Theil der aufgespeicherten elektrischen Energie verloren. Die Kondensatoren werden darauf wieder schnell geladen und der nämliche Process in mehr oder weniger rascher Aufeinanderfolge wiederholt. Um solche plötzlichen Stromstösse hervorzubringen, muss man gewisse Bedingungen innehalten. Ist die Geschwindigkeit, mit welcher die Kondensatoren entladen werden, dieselbe wie die, mit welcher sie geladen werden, so kommen offenbar in dem angenommenen Falle die Kondensatoren nicht ins Spiel. Ist die Geschwindigkeit der Entladung kleiner als die der Ladung, dann können ebenfalls die Kondensatoren keine wichtige Rolle spielen. Wenn dagegen die Geschwindigkeit der Entladung grösser ist als die der Ladung, so erhält man eine Aufeinanderfolge von Stromstössen. Es ist klar, dass, wenn die Geschwindigkeit, mit welcher die Energie durch die Entladung zerstreut wird, sehr viel grösser ist als die des Stromzuflusses zu den Kondensatoren, die plötzlichen Stromstösse verhältnissmässig gering an Zahl sein und in langen Zwischenpausen auf einander folgen werden. Dies tritt stets ein, wenn ein Kondensator von beträchtlicher Kapacität mit Hülfe einer verhältnissmässig kleinen Maschine geladen wird. Sind die Geschwindigkeiten der Stromzuführung und der Zerstreuung nicht sehr verschieden, so werden die Stromstösse schneller auf einander folgen, und zwar

um so mehr, je näher beide Geschwindigkeiten einander gleich sind, bis eine für jeden Fall besondere und von mehreren Ursachen abhängende Grenze erreicht ist. Auf diese Weise sind wir im Stande, von einem Gleichstromgenerator eine so schnelle Aufeinanderfolge der Entladungen zu erhalten, wie wir wollen. Je höher die Spannung des Generators ist, um so niedriger braucht natürlich die Kapacität der Kondensatoren zu sein, und aus diesem Grunde hauptsächlich ist es von Vortheil, einen Generator von sehr hoher Spannung zu verwenden. Ausserdem gestattet ein solcher Generator die Erreichung grösserer Schwingungszahlen.

Die Stromstösse können unter den vorher angenommenen Bedingungen die nämliche Richtung haben, in den meisten Fällen findet jedoch eine Oscillation statt, welche sich über die ursprüngliche Stromwelle hinüberlagert. Wenn die Bedingungen so bestimmt sind, dass keine Oscillationen stattfinden, so sind die Stromstösse gleichgerichtet und man hat auf diese Weise ein Mittel, um einen Gleichstrom hoher Spannung in einen solchen niedriger Spannung zu verwandeln, welches meiner Meinung nach in der Technik Anwendung finden kann.

Diese Methode der Umwandlung ist ausserordentlich interessant und ich war von ihrer Schönheit sehr entzückt, als ich sie zuerst entdeckte. Sie ist in mancher Beziehung ideal. Sie hat nicht die Anwendung mechanischer Vorrichtungen irgend welcher Art zur Voraussetzung und sie gestattet, aus einem gewöhnlichen Gleichstrom- oder Wechselstromkreise Ströme jeder gewünschten Frequenz zu entnehmen. Die Frequenz der Fundamentalentladungen, welche von den relativen Geschwindigkeiten der Energiezuführung und -Zerstreuung abhängt, kann leicht durch einfache Regulirung dieser Grössen innerhalb weiter Grenzen variirt werden, und ebenso die Frequenz der darüber gelagerten Schwingung durch geeignete Bestimmung der Kapacität, Selbstinduktion und des Widerstandes des Stromkreises. Die Spannung der Ströme kann ferner so hoch, als irgend eine Isolation mit Sicherheit zu widerstehen vermag, dadurch gesteigert werden, dass man Kapacität und Selbstinduktion kombinirt, oder auch durch Induktion in einem Sekundärkreise, der nur verhältnissmässig wenige Windungen zu haben braucht.

Da die Verhältnisse oft so liegen, dass das Intermittiren oder die Oscillation der Entladungen sich nicht leicht von selbst herstellt, besonders wenn eine Gleichstromquelle benutzt wird, so ist es von Vortheil, mit dem Lichtbogen einen Unterbrecher zu verbinden; z. B. habe ich vor einiger Zeit zu diesem Zwecke auf die Benutzung eines Luftgebläses oder eines Magnets oder anderer derartiger leicht zur Hand liegender Vorrichtungen hingewiesen. Der Magnet wird mit besonderem Vortheil bei der

Umwandlung von Gleichströmen angewandt, da er alsdann sehr wirksam ist. Ist die primäre Stromquelle ein Wechselstromgenerator, so ist es erwünscht, wie ich bei anderer Gelegenheit auseinandergesetzt habe, dass die Frequenz niedrig und der den Bogen bildende Strom gross sei, um den Magnet wirksamer zu machen.

Eine Form eines solchen Entladers mit einem Magneten, der sich als zweckmässig erwiesen hat und nach einigen Probeversuchen insbesondere bei der Umwandlung von Gleichströmen verwendet wurde, ist in Fig. 166 abgebildet. NS sind die Polstücke eines sehr starken Magneten, welcher durch eine Spule C erregt wird. Die Polstücke sind behufs Regulirung mit Schlitzen versehen und können mittels der Schrauben $s s_1$ in jeder Lage befestigt werden. Die Entladungsstäbe $d d_1$, welche an den Enden

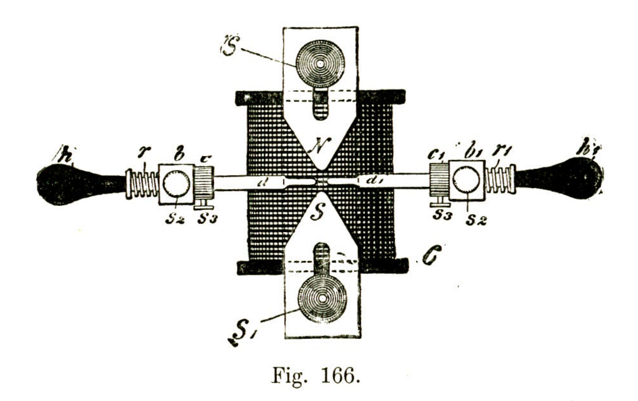


Fig. 166.

dünner gemacht sind, um eine grössere Annäherung der magnetischen Polstücke zu ermöglichen, gehen durch die Messingsäulen $b b_1$ hindurch und werden durch Schrauben s_2 s_2 in ihrer Lage festgehalten. Ueber die Stäbe sind Federn $r r_1$ und Muffen $c c_1$ geschoben, von denen letztere dazu dienen, die Spitzen der Stäbe mittels der Schrauben s_3 s_3 in einem gewissen passenden Abstande zu halten, erstere dagegen, um die Spitzen auseinander zu ziehen. Will man den Lichtbogen einleiten, so wird einer der grossen Gummihandgriffe $h h_1$ mit der Hand schnell angeschlagen, wodurch die Spitzen der Stäbe in Berührung gebracht, aber sogleich wieder durch die Federn $r r_1$ getrennt werden.

Eine solche Anordnung hat sich oft als nothwendig erwiesen, namentlich in Fällen, wo die elektromotorische Kraft nicht gross genug war, um den Luftraum zu durchschlagen, oder auch wo es wünschenswerth war, Kurzschluss des Generators durch den metallischen Kontakt der Stäbe zu vermeiden. Die Schnelligkeit der Unterbrechungen des Stromes

mittels des Magneten hängt von der Intensität des magnetischen Feldes und von der Potentialdifferenz an dem Ende des Bogens ab. Die Unterbrechungen folgen im Allgemeinen so schnell auf einander, dass sie einen musikalischen Ton erzeugen. Vor Jahren wurde beobachtet, dass, wenn eine mächtige Induktionsspule zwischen den Polen eines starken Magneten entladen wird, die Entladung ein lautes Geräusch, das einem Pistolenschuss nicht unähnlich ist, hervorbringt. Man behauptete obenhin, dass der Funken durch die Anwesenheit des magnetischen Feldes verstärkt worden wäre. Wir wissen jetzt, dass der eine Zeitlang fliessende Entladungsstrom durch den Magneten sehr oft unterbrochen wird und dass dadurch der Ton entsteht. Die Erscheinung ist besonders markant, wenn der Feldstromkreis eines grossen Magnets oder einer Dynamomaschine in einem kräftigen magnetischen Felde unterbrochen wird.

Wenn der Strom durch die Luftstrecke verhältnissmässig gross ist, so ist es von Vortheil, auf die Spitzen der Entladungsstäbe Stücken aus sehr harter Kohle aufzusetzen und den Bogen zwischen den Kohlenstücken spielen zu lassen. Dies schützt die Stäbe und hat ausserdem den Vortheil, dass der Luftzwischenraum heisser erhalten wird, da die Wärme durch die Kohlen nicht so schnell abgeleitet wird, und das Resultat ist, dass eine kleinere elektromotorische Kraft in der Funkenstrecke erforderlich ist, um eine Reihe auf einander folgender Entladungen zu unterhalten.

Eine andere Form des Entladers, die in gewissen Fällen mit Vortheil angewendet werden kann, ist in Fig. 167 abgebildet. In diesem Falle gehen die Entladungsstäbe $d\,d_1$ durch Bohrungen in einem hölzernen Kasten B hindurch, der innen, wie durch die starken Linien angedeutet ist, dick mit Glimmer bekleidet ist. Die Bohrungen sind mit dicken Glimmerröhren $m\,m_1$ versehen, die am besten nicht mit den Stäben $d\,d_1$ in Berührung stehen. Der Kasten hat einen Deckel C, welcher etwas grösser ist und ausserhalb des Kastens über letzteren übergreift. Die Funkenstrecke wird durch eine kleine in dem Kasten befindliche Lampe l erwärmt. Eine Platte p über der Lampe gestattet dem Zuge nur durch den Schornstein e der Lampe abzuziehen; die Luft tritt durch die in dem Boden des Kastens oder nahe an diesem befindlichen Oeffnungen $o\,o$ ein und folgt dem durch die Pfeile angedeuteten Wege. Ist der Entlader in Thätigkeit, so wird der Deckel des Kastens geschlossen, so dass das Licht des Bogens aussen nicht sichtbar ist. Es ist erwünscht, das Licht so vollkommen wie möglich abzuschliessen, da es einige Versuche beeinträchtigt.

Diese Form der Entladers ist einfach und, wenn sie zweckmässig gehandhabt wird, sehr wirksam. Wird die Luft bis zu einer gewissen

Temperatur erwärmt, so wird ihre Isolirfähigkeit geschwächt; sie wird gewissermassen dielektrisch schwach und die Folge ist, dass der Bogen auf viel grössere Entfernung hergestellt werden kann. Der Luftzwischenraum sollte natürlich noch genügend isoliren, damit die Entladung durch denselben disruptiv übergeht. Der unter solchen Verhältnissen gebildete Bogen kann, wenn lang, ausserordentlich empfindlich gemacht werden und der schwache Zug durch den Lampencylinder *e* ist durchaus hinreichend, um rasche Unterbrechungen herbeizuführen. Die Einstellung wird durch Regulirung der Temperatur und der Geschwindigkeit des Zuges bewirkt. Anstatt eine Lampe zu benutzen, kann man einen Strom

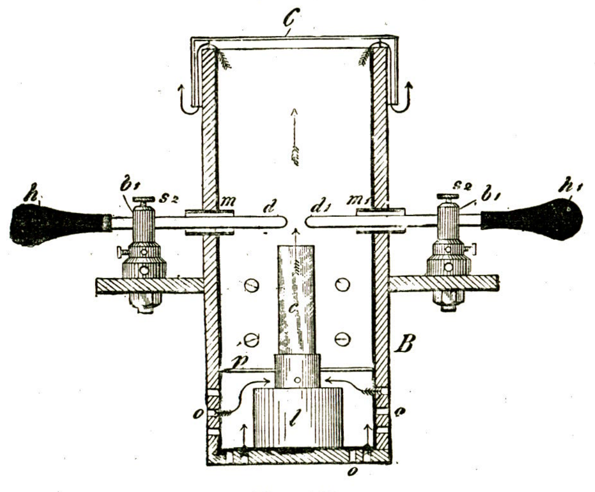


Fig. 167.

warmer Luft auch auf andere Weise hervorbringen. Ein sehr einfaches Verfahren, welches praktisch ausgeführt wurde, besteht darin, dass man den Bogen in einen langen vertikalen Cylinder einschliesst, der oben und unten zur Regulirung der Temperatur und der Geschwindigkeit des Luftstromes mit Platten versehen ist. Auch für die Abschwächung des Tones muss man Vorkehrungen treffen.

Die Luft kann auch durch Verdünnung zu einem schwächeren Dielektrikum gemacht werden. Entlader dieser Art wurden von mir ebenfalls benutzt und zwar in Verbindung mit einem Magnet. Zu diesem Zwecke ist eine weite Röhre mit starken Kohlen- oder Metallelektroden versehen, zwischen denen die Entladung vor sich geht, während die Röhre in ein kräftiges magnetisches Feld gebracht wird. Die Evakuirung der Röhre wird bis zu einem Punkte ausgeführt, bei welchem die Entladung leicht

vor sich geht, jedoch sollte der Druck mehr als 75 mm betragen, da bei diesem die gewöhnliche Fadenentladung eintritt. Bei einer andern Form des Entladers, bei welcher die vorher erwähnten Eigenthümlichkeiten vereinigt sind, lässt man die Entladung zwischen zwei adjustirbaren magnetischen Polstücken übergehen, wobei der zwischen ihnen befindliche Raum auf einer erhöhten Temperatur gehalten wird.

Es muss hier bemerkt werden, dass, wenn derartige oder irgendwelche anderen Unterbrechungsvorrichtungen benutzt und die Ströme durch den Primärkreis einer disruptiven Entladungsspule gesandt werden, es in der Regel nicht von Vortheil ist, eine grössere Anzahl von Stromunterbrechungen per Sekunde hervorzubringen, als die natürliche, gewöhnlich niedrige Frequenz der Vibrationen des stromliefernden Dynamostromkreises ist. Ferner muss darauf hingewiesen werden, dass, so vortheilhaft auch die erwähnten Vorrichtungen bei der disruptiven Entladung unter gewissen Bedingungen sind, sie doch zuweilen eine Quelle der Störung sein können, da sie Unterbrechungen und andere Unregelmässigkeiten in den Schwingungen verursachen, deren Beseitigung sehr wünschenswerth sein würde.

Es besteht leider bei dieser schönen Transformationsmethode ein Mangel, welcher glücklicherweise nicht wesentlich ist und den ich allmählich überwunden habe. Ich werde am besten die Aufmerksamkeit auf diesen Mangel lenken und ein fruchtbringendes Feld für weitere Arbeiten angeben, indem ich den elektrischen Vorgang mit seinem mechanischen Analogon vergleiche. Der Vorgang kann in folgender Weise erläutert werden. Man denke sich ein Reservoir mit einer weiten Oeffnung am Boden, die durch Federdruck geschlossen gehalten wird, aber so, dass sie plötzlich aufschnellt, wenn die Flüssigkeit in dem Reservoir eine gewisse Höhe erreicht hat. Die Flüssigkeit möge nun durch ein Speiserohr mit einer gewissen Geschwindigkeit in das Reservoir fliessen. Hat die Flüssigkeit die kritische Höhe erreicht, so giebt die Feder nach und der Boden des Reservoirs fällt heraus. Sofort fliesst die Flüssigkeit durch die weite Oeffnung aus und die Feder, die wieder zur Geltung kommt, schliesst den Boden von Neuem. Das Reservoir wird nun gefüllt und nach einem gewissen Zeitintervall wiederholt sich derselbe Vorgang. Es ist ersichtlich, dass, wenn das Rohr die Flüssigkeit schneller zuführt, als sie der Boden auszulassen im Stande ist, der Boden offen bleibt und trotzdem das Reservoir überfliesst. Wenn die Geschwindigkeiten des Zu- und Abflusses genau gleich sind, so bleibt das Bodenventil theilweise offen und es tritt im Allgemeinen keine Schwingung desselben und der Flüssigkeitssäule ein, obwohl dies möglich wäre, wenn sie auf

irgend eine Weise eingeleitet würde. Wenn jedoch das Einlassrohr die Flüssigkeit für den Abfluss nicht schnell genug zuführt, so findet stets eine Schwingung statt. In solchem Falle werden jedesmal, wenn der Boden auf- oder niederklappt, die Feder und die Flüssigkeitssäule, falls die Elasticität der Feder und die Trägheit der beweglichen Theile passend gewählt sind, von einander unabhängige Schwingungen ausführen. Bei diesem Beispiel kann die Flüssigkeit der Elektricität oder elektrischen Energie, das Reservoir dem Kondensator, die Feder dem Dielektrikum und das Zuführungsrohr dem Leiter, durch welchen die Elektricität dem Kondensator zugeführt wird, verglichen werden. Um diese Analogie zu einer vollständigen zu machen, muss man annehmen, dass der Boden, jedesmal wenn er nachgiebt, mit Gewalt gegen eine nichtelastische Hemmung stösst, welcher Anschlag einen gewissen Energieverlust zur Folge hat, und dass ausserdem einige Energie in Reibungsverlusten verzehrt wird. Bei dem vorigen Beispiel ist angenommen, dass die Flüssigkeit unter konstantem Druck sich befinde. Nimmt man an, dass der Wasserzufluss ein rythmisch variirender sei, so kann dies als dem Falle eines Wechselstroms entsprechend angesehen werden. Der Vorgang ist dann nicht ganz so einfach zu verfolgen, indessen ist die Wirkung im Princip dieselbe.

Um die Schwingungen ökonomisch herzustellen, ist es wünschenswerth, den Verlust durch den Anschlag und die Reibungsverluste so viel als möglich zu verringern. Was die letzteren anbelangt, welche bei dem elektrischen Analogon den von dem Widerstand der Stromkreise herrührenden Verlusten entsprechen, so ist es unmöglich, sie ganz zu vermeiden, sie können aber durch geeignete Wahl der Dimensionen der Stromkreise und durch Verwendung dünner Leiter in Form von Seilen auf ein Minimum reducirt werden. Wichtiger aber würde es sein, den durch das erste Durchschlagen des Dielektrikums — welches in dem obigen Beispiel dem heftigen Anschlagen des Bodens gegen die unelastische Hemmung entspricht — verursachten Energieverlust zu beseitigen. Im Augenblick des Durchschlagens besitzt der Luftzwischenraum einen sehr hohen Widerstand, der wahrscheinlich auf einen sehr kleinen Werth reducirt wird, wenn der Strom eine gewisse Stärke erreicht hat, und der Luftraum auf eine hohe Temperatur gebracht ist. Es würde den Energieverlust wesentlich verringern, wenn der Luftraum stets auf einer ausserordentlich hohen Temperatur gehalten würde, alsdann aber würde keine disruptive Entladung stattfinden. Durch mässige Erwärmung des Luftraumes mittels einer Lampe oder auf andere Weise wird die Oekonomie, soweit der Lichtbogen in Betracht kommt, merk-

lich erhöht. Der Magnet oder irgend eine andere Unterbrechungsvorrichtung vermindert jedoch nicht den Verlust im Lichtbogen. In gleicher Weise erleichtert ein Luftstrahl nur die Abführung der Energie. Luft oder überhaupt ein Gas verhält sich in dieser Beziehung sonderbar. Wenn zwei zu sehr hohem Potential geladene Körper sich disruptiv durch einen Luftraum entladen, so kann jeder beliebige Energiebetrag durch die Luft abgeführt werden. Diese Energie wird offenbar durch körperliche Träger, in den durch den Anprall und Zusammenstoss der Moleküle verursachten Verlusten, zerstreut. Der Wechsel der Moleküle in dem Luftraum geht mit unfassbarer Schnelligkeit vor sich. Findet eine kräftige Entladung zwischen zwei Elektroden statt, so können diese ganz kalt bleiben, und doch kann der Verlust in der Luft jeden beliebigen Energiebetrag darstellen. Es ist vollkommen möglich, bei sehr grossen Potentialdifferenzen in dem Zwischenraum mehrere Pferdestärken in dem Entladungsbogen zu zerstreuen, ohne dass man eine geringe Temperaturerhöhung der Elektroden wahrnimmt. Sämmtliche Reibungsverluste treten also praktisch in der Luft auf. Wird der Wechsel der Luftmoleküle verhindert, z. B. durch hermetischen Abschluss der Luft, so wird das in dem Gefäss enthaltene Gas schnell zu einer hohen Temperatur, selbst mit einer sehr kleinen Entladung, gebracht. Es ist schwer zu beurtheilen, wieviel Energie in hörbaren oder nicht hörbaren Schallwellen bei einer kräftigen Entladung verloren wird. Sind die den Luftraum durchbrechenden Ströme sehr gross, so können die Elektroden schnell heiss werden, aber dies ist kein verlässliches Maass für die in dem Bogen vergeudete Energie, da der Verlust durch den Luftraum selbst verhältnissmässig gering sein kann. Die Luft oder überhaupt ein Gas ist wenigstens bei gewöhnlichem Drucke offenbar nicht das beste Medium, durch welches eine disruptive Entladung stattfinden sollte. Luft oder Gas unter grossem Drucke ist natürlich ein weit geeigneteres Medium für die Entladungsstrecke. Ich habe lange fortgesetzte Versuche nach dieser Richtung ausgeführt, die leider wegen der Schwierigkeiten und der Kosten, welche mit der Erhaltung der Luft unter starkem Drucke verbunden sind, sich nicht so leicht anstellen lassen. Aber auch wenn das Medium in der Entladungsstrecke ein fester oder flüssiger Körper ist, finden doch dieselben Verluste statt, wenn sie auch im allgemeinen geringer sind, da gerade so schnell, als der Lichtbogen hergestellt wird, die festen oder flüssigen Körper verflüchtigt werden. In der That giebt es keinen bekannten Körper, der nicht durch den Bogen aufgelöst würde, und es ist eine offene Frage unter den Gelehrten, ob eine Bogenentladung überhaupt in der Luft eintreten würde, ohne

dass Partikeln der Elektroden losgerissen würden. Ist der Strom durch die Luftstrecke sehr klein und der Bogen sehr lang, so wird, glaube ich, ein relativ beträchtlicher Wärmebetrag durch die Auflösung der Elektroden verzehrt, welche zum Theil aus diesem Grunde ganz kalt bleiben können.

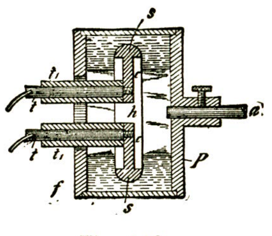
Das ideale Medium für eine Entladungsstrecke sollte nur auseinanderbersten, und die ideale Elektrode sollte aus irgend einem Material sein, welches nicht aufgelöst werden kann. Bei kleinen Strömen durch die Luftstrecke wendet man am besten Aluminium an, dagegen nicht, wenn die Ströme gross sind. Das disruptive Durchschlagen in der Luft oder mehr oder weniger in jedem gewöhnlichen Medium hat nicht die Natur des Berstens, sondern ist eher dem Durchdringen unzähliger Bläschen durch eine der Bewegung der Bläschen grossen Reibungswiderstand entgegensetzende Masse vergleichbar, womit ein bedeutender Energieverlust verknüpft ist. Ein Medium, welches nur bersten würde, wenn es elektrostatisch zusammengepresst wird — und dies kann möglicher Weise bei einem vollkommenen Vakuum, d. h. reinem Aether der Fall sein —, würde einen sehr geringen Energieverlust in der Entladungsstrecke bedingen, so gering, dass er, wenigstens theoretisch, vollständig zu vernachlässigen wäre, weil ein Bersten durch eine unendlich kleine Verschiebung hervorgebracht werden kann. Indem ich eine mit zwei Aluminiumelektroden versehene längliche Glasbirne mit der grössten Sorgfalt evakuirte, gelang es mir ein solches Vakuum zu erzeugen, dass die sekundäre Entladung einer disruptiven Entladungsspule disruptiv in der Form feiner Funkenströme durch die Glasbirne hindurchging. Der merkwürdige Punkt hierbei war, dass die Entladung sich um die beiden Elektroden gar nicht kümmerte und weit hinter den beiden als Elektroden dienenden Aluminiumplatten ihren Anfang nahm. Dieses ausserordentlich hohe Vakuum konnte nur eine sehr kurze Zeit erhalten werden.

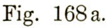
Um zum idealen Medium zurückzukehren, denke man sich zur Veranschaulichung ein Stück Glas oder einen andern ähnlichen Körper in einen Schraubstock eingeklemmmt und den letzteren mehr und mehr festgedreht. An einem gewissen Punkte wird eine geringe Vermehrung des Druckes das Glas zum Bersten bringen. Der durch die Zersplitterung des Glases bedingte Energieverlust kann praktisch gleich Null sein, da die Verschiebung, obwohl die Kraft gross ist, nur ausserordentlich gering zu sein braucht. Nun stelle man sich vor, das Glas besitze die Eigenschaft, dass sich bei einer kleinen Verminderung des Druckes der Sprung wieder vollkommen schliesst. Derart wird sich das Dielektrikum

in der Entladungsstrecke verhalten. Da aber stets ein gewisser Verlust in dieser Strecke stattfindet, müsste das Medium, welches kontinuirlich sein soll, sich mit rapider Geschwindigkeit in dem Entladungsraume erneuern. Dass das Glas bei dem angenommenen Beispiele sich wieder vollkommen schliesst, würde bedeuten, dass das Dielektrikum in dem Entladungsraume ein grosses Isolirvermögen besitzt; dass das Glas zerbricht, hiesse, dass das Medium in dem Raume ein guter Leiter ist. Das Dielektrikum müsste also seinen Widerstand bei geringen Variationen der elektromotorischen Kraft in dem Entladungsraume enorm ändern. Dieser Zustand wird, allerdings in ausserordentlich unvollkommener Weise, dadurch erreicht, dass man den Luftraum bis zu einer gewissen kritischen Temperatur, die von der elektromotorischen Kraft in dem Raume abhängt, erwärmt oder sonstwie die Isolirfähigkeit der Luft schwächt. Thatsächlich aber wird die Luft niemals disruptiv durchschlagen, wenn man dies Wort im strengen Sinne nimmt, denn bevor der plötzliche Stromstoss eintritt, geht demselben stets ein schwacher Strom voraus, welcher erst allmählich und dann mit verhältnissmässiger Raschheit anwächst. Das ist der Grund, warum die Geschwindigkeit des Wechsels sehr viel grösser ist, wenn z. B. Glas durchschlagen wird, als wenn das Durchschlagen durch einen Luftraum von äquivalenter dielektrischer Stärke stattfindet. Als Medium für den Entladungsraum würde daher ein fester oder sogar ein flüssiger Körper vorzuziehen sein. Es hält etwas schwer, sich einen festen Körper vorzustellen, welcher die Eigenschaft besitzt, sich, nachdem er geborsten, sofort wieder zusammen zu schliessen. Eine Flüssigkeit aber verhält sich, besonders unter starkem Druck, praktisch wie ein fester Körper und besitzt überdies die Fähigkeit, die Durchbruchsöffnung sofort wieder zu schliessen. Hiernach kam ich auf den Gedanken, dass ein flüssiger Isolator als Dielektrikum sich besser eignen dürfte wie Luft. In Verfolg dieses Gedankens wurden eine grosse Anzahl verschiedener Formen von Entladern, bei welchen verschiedene derartige Isolatoren zum Theil unter grossem Druck verwendet wurden, versucht. Es dürfte genügen, mit wenigen Worten auf die eine der bei den Versuchen benutzten Formen einzugehen. Einer dieser Entlader ist in den Fig. 168 a und 168 b dargestellt.

Auf einer Welle a, welche durch eine geeignete Vorrichtung mit beträchtlicher Geschwindigkeit rotirt werden kann, ist ein hohler flacher Metallcylinder P (Fig. 168 a) befestigt. Innerhalb dieses Cylinders, aber in keiner Verbindung mit demselben, ist eine dünne Scheibe h aus Hartgummi (dieselbe ist in der Figur der Deutlichkeit wegen dicker gezeichnet) angebracht, in welche zwei Metallsegmente $s\,s$ mit metallischen Erweite-

rungen $e\,e$, in welche die mit dicken Hartgummiröhren $t_1\,t_1$ umhüllten Zuführungsdrähte $t\,t$ eingeschraubt sind, eingelassen sind. Die Gummischeibe h mit ihren Metallsegmenten $s\,s$ wurde in einer Drehbank bearbeitet und ihre ganze Oberfläche sorgfältig polirt, damit sie der Bewegung durch eine Flüssigkeit den kleinstmöglichen Reibungswiderstand entgegensetze. In den Hohlraum des Cylinders war eine isolirende Flüssigkeit wie etwa ein dünnes Oel eingegossen, so dass sie bis nahe an die Oeffnung des auf die Vorderseite des Cylinders fest aufgeschraubten Deckels f heranreichte. Die Drahtenden $t\,t$ waren mit den entgegengesetzten Belegungen einer Kondensatorenbatterie verbunden, so dass die Entladung durch die Flüssigkeit erfolgte. Wurde der Cylinders rotirt,




Fig. 168 a.

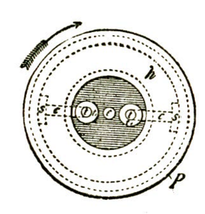


Fig. 168 b.

so wurde die Flüssigkeit gegen den Rand desselben getrieben, was einen beträchtlichen Flüssigkeitsdruck zur Folge hatte. Auf diese einfache Weise wurde die Entladungsstrecke mit einem Medium erfüllt, welches sich praktisch wie ein fester Körper verhielt, welches ferner die Eigenschaft besass, sich sofort nach erfolgtem Durchschlagen wieder zusammenzuschliessen, und welches überdies mit grosser Geschwindigkeit durch die Funkenstrecke cirkulirte.

Durch Entladungen dieser Art mit Flüssigkeitsunterbrechern, von denen mehrere verschiedene Formen hergestellt wurden, liessen sich sehr kräftige Wirkungen hervorbringen. Es ergab sich, wie erwartet wurde, dass man auf diese Weise bei gegebener Drahtlänge einen weit längeren Funken erhalten konnte, als wenn man Luft als Unterbrechungsmittel verwendete. Im Allgemeinen war bei der beschriebenen Form des Entladers die Geschwindigkeit und daher auch der Flüssigkeitsdruck infolge der Reibung der Flüssigkeit beschränkt, aber die praktisch erreichbare Geschwindigkeit war mehr als hinreichend, um eine für die gewöhnlich benutzten Stromkreise geeignete Zahl von Unterbrechungen hervorzubringen. In solchen Fällen war der Metallcylinder P mit einigen nach innen stehenden Vorsprüngen versehen und man konnte dann eine bestimmte Anzahl von Unterbrechungen erzeugen, die sich aus der Rotations-

geschwindigkeit des Cylinders berechnen liess. Es wurden auch Versuche mit Flüssigkeiten von verschiedenem Isolationsvermögen zu dem Zwecke angestellt, den Verlust im Bogen zu verringern. Wird eine isolirende Flüssigkeit mässig erwärmt, so wird der Verlust im Bogen verringert.

Bei den Versuchen mit verschiedenen Entladungen dieser Art wurde ein nicht unwichtiger Punkt bemerkt. Es fand sich nämlich, dass, während die bei diesen Formen obwaltenden Verhältnisse für die Erzeugung einer grossen Funkenlänge günstig waren, der so erhaltene Strom für die Hervorbringung von Lichteffekten nicht der bestgeeignete war. Die Erfahrung hat unzweifelhaft dargethan, dass für solche Zwecke ein harmonisches Steigen und Fallen der Spannung vorzuziehen ist. Mag ein fester Körper glühend oder phosphorescirend gemacht werden oder mag Energie mittels der Kondensatorbelegung durch das Glas übertragen werden, sicher wird ein harmonisches Anwachsen und Abfallen der Spannung eine weniger zerstörende Wirkung ausüben und das Vakuum vollkommener erhalten bleiben. Dies liesse sich leicht erklären, wenn es feststünde, dass der in einem evakuirten Gefäss vor sich gehende Process elektrolytischer Natur wäre.

In der schematischen Darstellung Fig. 165, auf welche bereits hingewiesen wurde, sind die Fälle, welche voraussichtlich in der Praxis am häufigsten vorkommen, erläutert. Von einem Elektricitätswerk wird man entweder nur Gleichstrom oder nur Wechselstrom zur Verfügung haben. Für einen Experimentator in einem isolirten Laboratorium empfiehlt es sich, eine Maschine G, wie in der Figur dargestellt, zu verwenden, welche beide Stromarten zu liefern vermag. In solchem Falle ist es ferner besser, eine Maschine mit mehrfachen Stromkreisen zu benutzen, da es bei vielen Versuchen nützlich und zweckmässig ist, Ströme von verschiedener Phase zur Verfügung zu haben. In dem Schema stellt D den Gleichstromkreis und A den Wechselstromkreis dar. Bei jedem derselben sind drei Zweigstromkreise dargestellt, die sämmtlich mit doppelpoligen Umschaltern $s s s s s s$ versehen sind. Wir wollen zunächst die Gleichstromumwandlung betrachten. Ia stellt den einfachsten Fall dar. Ist die elektromotorische Kraft des Generators hinreichend, um einen kleinen Luftzwischenraum zu durchschlagen, wenigstens wenn der letztere erwärmt oder auf andere Weise schwächer isolirend gemacht ist, so bietet es keine Schwierigkeit, durch richtige Regulirung der Kapacität, Selbstinduktion und des Widerstandes des die Apparate $l l m$ enthaltenden Stromkreises L eine Oscillation mit ziemlicher Oekonomie zu unterhalten. In diesem Falle kann man mit Vortheil

den Magnet *NS* mit dem Luftraum kombiniren. Der Entlader *dd* mit dem Magnet kann dann entweder so, wie in der Figur durch ausgezogene Linien angedeutet, oder so wie es die gestrichelten Linien angeben, angebracht werden. Es wird angenommen, dass der Stromkreis *Ia* nebst seinen Verbindungen und Apparaten solche Abmessungen besitzt, wie sie für die Unterhaltung einer Vibration geeignet sind. Gewöhnlich aber wird die elektromotorische Kraft im Stromkreise oder der Abzweigung *Ia* um 100 Volt herum liegen, und in diesem Falle ist sie nicht ausreichend, um die Luftstrecke zu durchschlagen. Um diesem Uebelstande durch Erhöhung der elektromotorischen Kraft in dem Zwischenraume abzuhelfen, kann man viele verschiedene Wege einschlagen. Am einfachsten ist es wahrscheinlich, eine grosse Selstinduktionsspule in Serie mit dem Stromkreise *L* einzuschalten. Wenn der Bogen z. B. mittels des in Fig. 166 dargestellten Entladers hergestellt wird, so bläst ihn der Magnet in dem Augenblicke seines Entstehens sofort wieder aus. Nun schlägt der durch diese Unterbrechung entstehende Extrastrom, der von hoher elektromotorischer Kraft ist, durch die Luftstrecke, und da hierdurch ein Weg von geringem Widerstande für den Dynamostrom geschaffen ist, so erfolgt auf das Schwächerwerden oder Aufhören des Extrastromes ein plötzlicher Stromstoss von der Dynamo aus. Dieser Vorgang wiederholt sich in schneller Aufeinanderfolge und ich war auf diese Weise im Stande, Oscillationen mit nur 50 Volt oder noch weniger durch den Luftraum zu erhalten. Eine Umwandlung des Stromes nach dieser Methode ist jedoch nicht zu empfehlen mit Rücksicht auf die zu starken Ströme, welche durch die Luftstrecke hindurchgehen, und die daraus folgende Erhitzung der Elektroden; ausserdem sind die auf diese Weise erhaltenen Frequenzen infolge der dem Stromkreise nothwendig anhaftenden hohen Selbstinduktion gering. Es ist sehr erwünscht, eine möglichst hohe elektromotorische Kraft zu haben, einmal um die Oekonomie der Umwandlung zu erhöhen, und sodann um hohe Frequenzen zu erhalten. Die Potentialdifferenz bei dieser elektrischen Oscillation ist natürlich der spannenden Kraft bei der mechanischen Schwingung der Feder analog. Um sehr schnelle Vibrationen in einem Stromkreise mit gewisser Trägheit zu erhalten, ist eine grosse spannende Kraft oder Potentialdifferenz erforderlich. Nebenbei braucht der gewöhnlich in Verbindung mit dem Stromkreise benutzte Kondensator, wenn die elektromotorische Kraft sehr gross ist, nur eine geringe Kapacität zu haben, und es ergeben sich noch manche andern Vortheile. Will man die elektromotorische Kraft zu einem vielmals grösseren Werthe steigern, als sie in der Regel aus den gewöhnlichen Vertheilungsnetzen

zu erhalten ist, so benutzt man, wie in *IIa* in Fig. 165 dargestellt, einen rotirenden Transformator *g* oder sonst eine separate Maschine hoher Spannung, welche mittels eines von dem Generator *G* gespeisten Elektromotors betrieben wird. Die letztere Methode ist in der That vorzuziehen, da sich Aenderungen leichter ausführen lassen. Die von der Hochspannungswickelung ausgehenden Verbindungen sind ganz ähnlich, wie die in dem Zweigstromkreis *Ia*, mit der Ausnahme, dass ein Kondensator *C*, der regulirbar sein muss, mit dem Hochspannungsstromkreise verbunden ist. In der Regel wird ferner eine regulirbare Selbstinduktionsspule in Serie mit dem Stromkreise bei diesen Versuchen angewendet. Wenn die Spannung der Ströme sehr hoch ist, so ist der gewöhnlich in Verbindung mit dem Entlader benutzte Magnet von verhältnissmässig geringem Werthe, da es sehr leicht ist, die Dimensionen des Stromkreises derart zu reguliren, dass die Oscillationen andauern. Die Verwendung einer konstanten elektromotorischen Kraft bei der Umwandlung hoher Frequenzen bietet einige Vortheile vor der Verwendung einer alternirenden elektromotorischen Kraft, da die Regulirungen viel einfacher sind und die Wirkung leichter kontrolirt werden kann. Leider aber ist man durch die erreichbare Spannungsdifferenz beschränkt. Die Wickelung wird ebenfalls leicht durchschlagen infolge der Funken, welche zwischen den Abschnitten des Ankers oder Kommutators entstehen, wenn eine starke Oscillation stattfindet. Ausserdem sind diese Transformatoren theuer zu bauen. Durch Erfahrung hat sich herausgestellt, dass man am besten die in *IIIa* dargestellte Methode befolgt. Bei dieser Anordnung wird ein rotirender Transformator *g* benutzt, um die Gleichströme niedriger Spannung in Wechselströme von niedriger Frequenz und am besten ebenfalls niedriger Spannung zu verwandeln. Die Spannung der Ströme wird dann in einem stationären Transformator *T* in die Höhe gebracht. Der Sekundärkreis *S* dieses Transformators ist mit einem adjustirbaren Kondensator *C* verbunden, der sich durch die Funkenstrecke oder den Entlader *dd*, der an irgend einer der in der Figur angedeuteten Stellen sich befindet, durch den Primärkreis *P* einer disruptiven Entladungsspule entladet, wodurch der Strom hoher Frequenz in der bei früheren Gelegenheiten beschriebenen Weise aus dem Sekundärkreise *S* dieser Spule erhalten wird. Dies dürfte sich unzweifelhaft als der billigste und bequemste Weg zur Umwandlung von Gleichströmen erweisen.

Die drei Abzweigungen des Stromkreises *A* stellen die gewöhnlichen Fälle dar, welche in der Praxis bei der Umwandlung von Wechselströmen vorkommen. In Fig. 165 Ib ist ein Kondensator *C*, im Allgemeinen

von grosser Kapacität, mit dem die Apparate *l l*, *m m* enthaltenden Stromkreise *L* verbunden. Es wird angenommen, dass die Apparate *m m* von hoher Selbstinduktion sind, um die Frequenz des Stromkreises derjenigen der Dynamo mehr oder weniger gleich zu machen. In diesem Falle sollte der Entlader *d d* am besten die doppelte Anzahl von Stromschliessungen und -Unterbrechungen machen, als die Frequenz der Dynamo beträgt. Im andern Falle sollte jene Zahl wenigstens gleich einem Vielfachen oder einem Bruchtheil der Dynamofrequenz sein. Es muss in Bezug auf Ib bemerkt werden, dass die Umwandlung zu hoher Spannung auch bewirkt werden kann, wenn der Entlader *d d*, der in dem Schema dargestellt ist, fortgelassen wird. Aber die Wirkungen, welche von Strömen hervorgebracht werden, die augenblicklich zu hohen Werthen ansteigen, wie z. B. bei einer disruptiven Entladung, sind völlig verschieden von denen, die durch harmonisch anwachsende und abfallende Dynamoströme erzeugt werden. So könnte z. B. in einem gegebenen Falle bei *d d* eine Anzahl von Stromschliessungen und -Unterbrechungen stattfinden, die gerade das Zweifache der Dynamofrequenz ist, oder mit andern Worten, es könnte dieselbe Anzahl fundamentaler Oscillationen stattfinden, als ohne die Entladungsstrecke erzeugt werden würden, und es brauchte auch keine schnellere darüber gelagerte Schwingung vorhanden zu sein, und doch würden die an den verschiedenen Punkten des Stromkreises stattfindenden Spannungsdifferenzen, die Impedanz und andere von der Grösse der Aenderung abhängende Erscheinungen keine Aehnlichkeit in beiden Fällen besitzen. Beim Arbeiten mit disruptiv entladenden Strömen ist daher das hauptsächlich in Betracht zu ziehende Element nicht die Frequenz, wie ein Unerfahrener zu glauben geneigt sein möchte, sondern die Grösse der Aenderung in der Zeiteinheit. Mit niedrigen Frequenzen kann man bis zu gewissem Grade die nämlichen Wirkungen hervorbringen, wie mit hohen Frequenzen, vorausgesetzt, dass die Aenderung hinreichend gross ist. Wenn z. B. ein Strom niedriger Frequenz zu einer Spannung von etwa 75 000 V. erhoben und der hochgespannte Strom durch eine Reihe von Lampenfäden von hohem Widerstande geschickt wird, so ist die Wichtigkeit des den Faden umgebenden verdünnten Gases deutlich erkennbar, wie wir später sehen werden; oder wenn ein Strom von geringer Frequenz und einigen Tausend Ampère durch eine Metallstange geschickt wird, so werden, gerade so wie bei Strömen von hohen Frequenzen, überraschende Erscheinungen der Impedanz beobachtet. Es ist aber natürlich evident, dass man mit Strömen niedriger Frequenz unmöglich eine so grosse Stromänderung in der Zeiteinheit erreichen kann, wie mit hohen Fre-

quenzen, daher sind die mit letzteren erzeugten Wirkungen viel hervorragender. Es erschien angemessen, die vorstehenden Bemerkungen zu machen, um so mehr als viele in jüngster Zeit beschriebenen Effekte unverständiger Weise hohen Frequenzen zugeschrieben wurden. Die Frequenz allein hat in Wirklichkeit nichts zu bedeuten, ausser wenn es sich um eine ungestörte harmonische Oscillation handelt.

In dem Zweigstromkreise IIIb ist eine analoge Anordnung dargestellt wie in Ib, mit dem Unterschiede jedoch, dass die durch die Funkenstrecke *dd* sich entladenden Ströme benutzt werden, um in dem Sekundärkreise *S* eines Transformators *T* Ströme zu induciren. In solchem Falle sollte der Sekundärkreis mit einem regulirbaren Kondensator versehen sein zu dem Zwecke, um ihn auf den Primärkreis abzustimmen.

Der Zweig IIb stellt eine Methode der Umwandlung von Wechselströmen hoher Frequenz dar, die sehr häufig benutzt wird und sich als sehr zweckmässig erwiesen hat. Diese Methode ist bei früheren Gelegenheiten ausführlich behandelt worden und braucht hier nicht beschrieben zu werden.

Einige dieser Resultate wurden mit Hülfe einer Wechselstrommaschine von hoher Frequenz erhalten. Eine Beschreibung dieser Maschinen findet man in meinem ursprünglichen Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers und in den Fachblättern jener Zeit, inbesondere in „The Electrical Engineer“ vom 18. März 1891.

Ich werde nunmehr zu den Versuchen übergehen.

Ueber die durch elektrostatische Kraft erzeugten Erscheinungen.

Die erste Klasse von Wirkungen, die ich Ihnen vorzuführen gedenke, sind solche, welche durch elektrostatische Kraft erzeugt werden. Dies ist die Kraft, welche die Bewegung der Atome beherrscht, welche dieselben zur Kollision treibt und dadurch die lebenerhaltende Energie von Wärme und Licht erzeugt, und, in Uebereinstimmung mit den phantasievollen Plänen der Natur, auf unendlich viele verschiedene Arten sich verbinden und alle jene wunderbaren Gebilde, die wir um uns her wahrnehmen, gestalten lässt; sie ist in der That, wenn unsere gegenwärtige Auffassung richtig ist, die wichtigste Kraft in der Natur, die wir zu betrachten haben. Da das Wort elektrostatisch einen konstanten elektrischen Zustand voraussetzen könnte, so muss bemerkt werden, dass bei diesen Versuchen die Kraft nicht konstant ist, sondern sich etwa eine Million Mal in der Sekunde ändert, eine Geschwindigkeit, die immerhin noch als mässig zu erachten ist. Dies setzt mich in den Stand, Wirkungen

hervorzubringen, welche mit einer unveränderlichen Kraft nicht zu erzielen sein würden.

Werden zwei leitende Körper isolirt und elektrisirt, so sagen wir, dass eine elektrostatische Kraft zwischen beiden wirkt. Diese Kraft äussert sich durch Anziehungen, Abstossungen und Druckerscheinungen in den Körpern und dem Raume oder Medium ausser ihnen. So gross kann der in der Luft oder in dem die beiden leitenden Körper trennenden Medium ausgeübte Druck sein, dass dasselbe durchschlagen wird und wir Funken oder Lichtbüschel wahrnehmen können. Diese Lichtströmungen treten in grosser Fülle auf, wenn die Kraft durch die Luft hindurch sich rasch ändert. Ich werde diese Wirkung der elektrostatischen Kraft an einem neuen Experimente zeigen und benutze dazu die vorher erwähnte Induktionsspule. Die Spule ist in einem mit Oel gefüllten Kasten enthalten, der sich unter dem Tische befindet. Die beiden Enden des sekundären Drahtes gehen durch die beiden dicken Hartgummisäulen, welche etwas über den Tisch hinausragen, hindurch. Es ist nothwendig, die Enden des sekundären Kreises sehr stark mit Hartgummi zu isoliren, da selbst trockenes Holz für diese Ströme von enormen Spannungsdifferenzen ein bei weitem zu schwacher Isolator ist. Auf das eine Ende der Spule ist eine grosse Kugel aus Messingblech gesetzt, welche mit einer grösseren isolirten Messingplatte in Verbindung steht, um das Experiment unter Verhältnissen ausführen zu können, die, wie sie sehen werden, für diesen Versuch geeigneter sind. Ich setze nun die Spule in Thätigkeit und nähere dem freien Ende einen metallischen Gegenstand, den ich in der Hand halte, und zwar letzteres einfach deshalb, um Verbrennungen zu vermeiden. Sobald ich den metallischen Gegenstand bis auf eine Entfernung von 200 bis 250 mm nähere, bricht ein Strom sprühender Funken aus dem Ende des durch die Hartgummisäule hindurchgehenden sekundären Drahtes hervor. Die Funken hören auf, wenn das Metall in meiner Hand den Draht berührt. Mein Arm wird nun von einem mächtigen elektrischen Strome durchflossen, der ungefähr eine Million Schwingungen in der Sekunde macht. Die elektrostatische Kraft macht sich rings um mich her fühlbar und Luftmoleküle und herumfliegende Staubtheilchen werden influenzirt und hämmern heftig gegen meinen Körper. So gross ist diese Hin- und Herbewegung der Theilchen, dass, wenn die Lichter ausgedreht werden, Sie Ströme von schwachem Licht an einigen Stellen meines Körpers erscheinen sehen. Wenn ein solcher Strom an irgend einem Theile des Körpers ausbricht, verursacht er ein Gefühl wie das von Nadelstichen. Wäre die Spannung genügend hoch und die Frequenz der Schwingungen ziemlich

niedrig, so würde die Haut wahrscheinlich unter dem fürchterlichen Drucke platzen und das Blut würde mit grosser Gewalt in Form eines feinen Regens oder eines dünnen fast unsichtbaren Strahles hervorspritzen, ähnlich dem Oele, wenn es auf den positiven Pol einer Holtz'schen Maschine gesetzt wird. Das Platzen der Haut, obwohl es auf den ersten Blick unmöglich zu sein scheint, tritt vielleicht ein, weil die Gewebe unter der Haut unvergleichlich bessere Leiter sind. Mindestens erscheint dies, nach gewissen Beobachtungen zu urtheilen, wahrscheinlich.

Ich kann diese Lichtströme allen sichtbar machen, wenn ich mit dem metallischen Gegenstande wie vorher die eine der Klemmen berühre und meine freie Hand der mit dem zweiten Ende der Spule verbundenen Messingkugel nähere. Sobald die Hand genähert wird, wird die Luft zwischen ihr und der Messingkugel oder in der unmittelbaren Nähe in heftigere Bewegung versetzt und man sieht Lichtströme aus den Fingerspitzen und der ganzen Hand hervorbrechen (Fig. 169). Würde ich die Hand noch mehr nähern, so würden mächtige Funken von der Messingkugel nach meiner Hand überspringen, die höchst unangenehm sein könnten. Die Strömungen verursachen keine besondere Unbehaglichkeit, ausser dass man in den äussersten Fingerspitzen ein brennendes Gefühl hat. Dieselben dürfen nicht mit den von einer Influenzmaschine hervorgebrachten verwechselt werden, da sie sich in vielen Beziehungen verschieden verhalten. Ich habe die Messingkugel und Platte an dem einen der Pole angebracht, um die Bildung sichtbarer Ströme an diesem Pole zu verhindern, sowie auch um zu verhüten, dass Funken in beträchtlicher Entfernung überspringen. Ausserdem ist diese Einrichtung günstig für das Funktioniren der Spule.

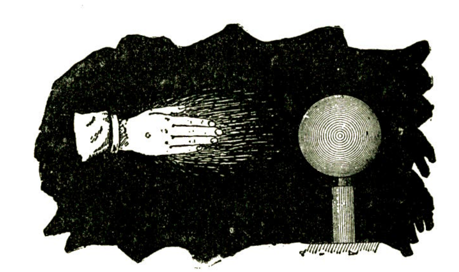


Fig. 169.

Die Lichtströme, die Sie von meiner Hand ausgehen sahen, rühren von einer Spannung von etwa 200 000 Volt her; dieselbe wechselt in ziemlich unregelmässigen Intervallen, manchmal etwa eine Million Mal in der Sekunde. Wenn man eine Vibration von gleicher Amplitude, aber viermal so schnell, unterhielte, wozu über 3 000 000 Volt erforderlich sein würden, so würde das mehr als ausreichend sein, um meinen Körper in einen vollständigen Flammenmantel einzuhüllen. Aber diese Flamme würde mich nicht im geringsten verbrennen; ganz im Gegentheil, wahrscheinlich ist, dass ich in keiner Weise verletzt würde. Und

doch würde der hundertste Theil dieser Energie, in anderer Weise angewendet, völlig hinreichen, um einen Menschen zu tödten.

Der Betrag der Energie, welcher auf diese Weise in den Körper eines Menschen geschickt werden kann, hängt von der Frequenz und Spannung des Stromes ab, und wenn man diese beiden sehr gross macht, so kann man einen enormen Energiebetrag in den Körper senden, ohne irgend welche Unbehaglichkeit zu verursachen, ausser vielleicht in dem Arme, welcher von einem wirklichen Leitungsstrom durchflossen wird. Der Grund, warum kein Schmerz in dem Körper empfunden und keine schädliche Wirkung verspürt wird, ist der, dass überall, wo man sich einen Strom durch den Körper fliessen denkt, die Richtung des Stromes rechtwinklig zur Oberfläche steht; demnach bietet der Körper des Experimentators dem Strome einen enormen Querschnitt dar und die Stromdichte ist sehr gering, mit Ausnahme vielleicht des Armes, wo die Dichte beträchtlich sein kann. Wenn aber nur ein kleiner Bruchtheil jener Energie in solcher Weise angewendet werden würde, dass ein Strom den Körper ebenso wie ein Strom von geringer Frequenz durchströmt, so würde man einen Schlag empfangen, der tödtlich sein könnte. Ein Gleichstrom oder ein Wechselstrom niedriger Frequenz ist meiner Ansicht nach hauptsächlich deshalb tödtlich, weil seine Vertheilung durch den Körper nicht gleichmässig ist, da er sich in dünne Strombahnen von grosser Dichte theilen muss, wodurch einige Organe tödtlich verletzt werden. Dass ein solcher Vorgang stattfindet, steht für mich unzweifelhaft fest, obwohl offenbar kein Beweis dafür existirt oder durch Untersuchung gefunden wird. Derjenige Strom, welcher am sichersten das Leben gefährdet und vernichtet, ist der Gleichstrom, am schmerzhaftesten aber ist ein Wechselstrom von niedriger Frequenz. Ich habe diesen Ansichten, welche das Resultat lange fortgesetzter Versuche und Beobachtungen sowohl mit konstanten wie mit veränderlichen Strömen sind, hier Ausdruck gegeben wegen des Interesses, welches man gegenwärtig an diesem Gegenstande nimmt, und wegen der offenbar irrthümlichen Ideen, die täglich in Journalen über diesen Gegenstand vorgetragen werden.

Ich werde Ihnen eine Wirkung der elektrostatischen Kraft durch ein anderes überraschendes Experiment vorführen, zuvor jedoch muss ich Ihre Aufmerksamkeit auf eine oder zwei Thatsachen lenken. Ich habe vorher gesagt, dass, wenn das Medium zwischen zwei entgegengesetzt elektrisirten Körpern über eine gewisse Grenze hinaus gespannt wird, dasselbe nachgiebt und dass sich, populär gesprochen, die entgegengesetzten elektrischen Ladungen vereinigen und einander neutra-

lisiren. Dies Durchschlagen des Mediums erfolgt hauptsächlich, wenn die zwischen den Körpern wirkende Kraft konstant ist, oder mit mässiger Geschwindigkeit variirt. Wäre die Variation genügend schnell, so würde ein solcher zerstörender Durchbruch nicht eintreten, wie gross auch immer die Kraft sein möge, denn die ganze Energie würde in der Strahlung, Konvektion und mechanischen und chemischen Wirkung verzehrt werden. Daher ist die Schlagweite oder die grösste Entfernung, welche ein Funken zwischen zwei elektrisirten Körpern überspringt, um so kleiner, je grösser die Variation oder die Aenderung in der Zeiteinheit ist. Jedoch kann diese Regel nur als im Allgemeinen richtig betrachtet werden, wenn man sehr weit von einander verschiedene Aenderungen vergleicht.

Ich werde Ihnen durch einen Versuch den Unterschied in der Wirkung zeigen, welche durch eine rasch variirende und durch eine konstante oder mässig variirende Kraft hervorgebracht wird. Ich habe hier zwei grosse kreisförmige Messingplatten *pp* (Fig. 170a und 170b), welche von auf dem Tische beweglichen isolirenden Ständern gehalten werden, die mit den Enden der sekundären Wickelung einer der vorher benutzten ähnlichen Spule verbunden sind. Ich stelle die Platten 250 bis 300 mm von einander entfernt auf und setze die Spule in Thätigkeit. Sie sehen den ganzen Raum zwischen den Platten, nahezu 57 dm³, mit gleichmässigem Lichte erfüllt (Fig. 170a). Das Licht rührt von den Strömen her, die Sie im ersten Versuch gesehen haben, die aber jetzt viel intensiver sind. Ich habe bereits auf die Wichtigkeit dieser Lichtströme bei käuflichen Apparaten und auf ihre noch grössere Wichtigkeit in einigen rein wissenschaftlichen Untersuchungen hingewiesen. Sie sind oft zu schwach, um sichtbar zu sein, sie existiren aber stets, verzehren Energie und modificiren die Wirkung der Apparate. Wenn sie intensiv sind, wie hier, erzeugen sie in grosser Menge Ozon und auch, worauf Professor Crookes aufmerksam gemacht hat, salpetrige Säure. Die chemische Wirkung ist so schnell, dass, wenn eine Spule, wie diese, lange Zeit in Thätigkeit ist, die Atmosphäre eines kleinen Raumes unerträglich wird, da die Augen und der Rachen angegriffen werden. Bei mässiger Erzeugung erfrischen aber die Ströme die Atmosphäre wunderbar gleich einem Gewitter und üben unzweifelhaft eine wohlthuende Wirkung aus.

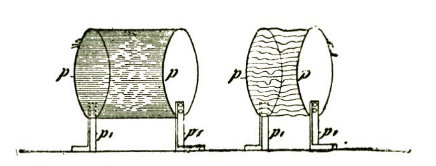


Fig. 170a. Fig. 170b.

Bei diesem Versuch ändert sich die zwischen den Platten wirkende Kraft in Intensität und Richtung mit sehr grosser Geschwindigkeit. Ich will nun die Aenderung per Zeiteinheit viel kleiner machen. Ich erreiche dies, indem ich die Entladungen durch die primäre Wickelung der Induktionsspule weniger zahlreich werden lasse und ferner auch die Schnelligkeit der Vibration in der sekundären Wickelung vermindere. Das erstere Resultat wird bequem durch Erniedrigung der elektromotorischen Kraft über die Luftstrecke im primären Stromkreise, das letztere dadurch erzielt, dass man die beiden Messingplatten bis auf eine Entfernung von etwa 75 bis 100 mm nähert. Wird die Spule in Thätigkeit gesetzt, so sehen Sie keine Strömungen oder kein Licht zwischen den Platten und doch befindet sich das Medium zwischen ihnen unter einem furchtbaren Druck. Ich vermehre den Druck noch weiter durch Erhöhung der Spannung im primären Stromkreise, und sofort sehen Sie, wie die Luft nachgiebt und der Saal durch einen Regen von brillanten und geräuschvollen Funken (Fig. 170 b) erleuchtet wird. Diese Funken können auch mit einer unveränderlichen Kraft erzeugt werden, dieselben sind eine seit vielen Jahren bekannte Erscheinung, obwohl sie gewöhnlich mit einem ganz verschiedenen Apparate erhalten wurden. Bei der Beschreibung dieser beiden in ihrem Aussehen so ganz verschiedenen Erscheinungen habe ich mit Absicht von einer zwischen den Platten wirkenden „Kraft“ gesprochen. In Uebereinstimmung mit den herrschenden Anschauungen müsste man sagen, dass eine „alternirende elektromotorische Kraft“ zwischen den Platten wirksam sei. Dieser Ausdruck würde in allen Fällen passend und anwendbar sein, wo wenigstens die Möglichkeit einer wesentlichen Abhängigkeit von dem elektrischen Zustande der Platten oder der elektrischen Wirkung in ihrer Nähe ersichtlich wäre. Mögen jedoch die Platten bis zu einer beliebig grossen Entfernung auseinander gerückt oder in eine endliche Entfernung von einander gesetzt werden, es besteht keine Wahrscheinlichkeit oder Nothwendigkeit irgend welcher Art für eine solche Abhängigkeit. Ich benutze lieber den Ausdruck „elektrostatische Kraft“ und sage, dass eine solche Kraft in der Umgebung jeder Platte oder überhaupt jedes elektrisirten isolirten Körpers wirksam ist. Allerdings ist dieser Ausdruck nicht ganz passend angewendet, da derselbe nebenbei einen konstanten elektrischen Zustand bedeutet; indessen dürfte eine geeignete Nomenklatur diese Schwierigkeit schliesslich beseitigen.

Ich kehre nun zu dem Versuche zurück, auf welchen ich bereits angespielt habe und mit dem ich eine überraschende durch eine rapid variirende elektrostatische Kraft erzeugte Wirkung vorführen will. Ich befestige an dem einen Ende des Drahtes l (Fig. 171), welcher mit einer

der Klemmen der sekundären Wickelung der Induktionsspule in Verbindung steht, eine ausgepumpte Glaskugel *b*. Diese Kugel enthält einen dünnen Kohlenfaden *f*, welcher an einem Platindraht *w* befestigt ist, der in das Glas eingeschmolzen ist und nach aussen führt, wo er mit dem Drahte *l* verbunden ist. Die Kugel kann zu jedem, mit gewöhnlichen Apparaten irgend erreichbaren Grade evakuirt sein. Kurz vorher haben Sie gesehen, wie die Luft zwischen den beiden geladenen Messingplatten durchschlagen wurde. Sie wissen, dass eine Glasplatte oder irgend ein anderes Isolirmaterial gleichfalls durchschlagen werden würde. Hätte ich daher eine metallene Umhüllung an der Aussenseite der Kugel angebracht oder in der Nähe derselben aufgestellt, und wäre diese Umhüllung mit der andern Klemme der Spule verbunden, so würden Sie darauf vorbereitet sein zu sehen, dass das Glas nachgiebt, wenn der Druck genügend verstärkt



Fig. 171.

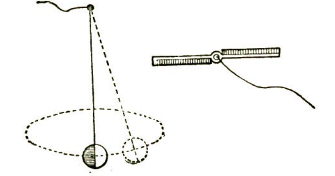


Fig. 172a. Fig. 172b.

wird. Auch wenn die Umhüllung nicht mit der andern Klemme, sondern mit einer isolirten Platte verbunden wäre, würden Sie, wenn Sie den letzten Entwickelungen gefolgt sind, natürlich einen Bruch des Glases erwarten.

Es wird Sie aber sicherlich überraschen zu sehen, dass das Glas unter der Wirkung der variirenden elektrostatischen Kraft auch nachgiebt, wenn sämmtliche andern Körper von der Kugel entfernt werden. In der That könnten alle die umgebenden Körper, die wir hier sehen, in unendliche Entfernung gerückt werden, ohne dass dadurch das Resultat im geringsten beeinflusst würde. Wenn die Spule in Thätigkeit gesetzt ist, wird das Glas jedesmal an der Zuschmelzstelle oder jedem andern engen Kanal durchbrochen und das Vakuum rasch verschlechtert. Ein solches schädliches Durchschlagen würde bei einer konstanten Kraft nicht vor-

kommen, selbst wenn dieselbe vielmal grösser wäre. Der Durchbruch rührt her von der heftigen Bewegung der Gasmoleküle innerhalb und ausserhalb der Kugel. Diese Bewegung, welche im Allgemeinen in dem engen zugespitzten Kanal an der Zuschmelzstelle am heftigsten ist, verursacht eine Erwärmung und das Zerspringen des Glases. Dieses Zerspringen würde jedoch nicht eintreten, nicht einmal bei einer veränderlichen Kraft, wenn das das Innere der Kugel erfüllende und das dieselbe umgebende Medium vollkommen homogen wären. Der Bruch tritt viel schneller ein, wenn das obere Ende der Kugel in einen feinen Faden ausgezogen wird. Bei Kugeln, welche in Verbindung mit solchen Spulen benutzt werden, müssen daher solche engen spitz zulaufenden Kanäle vermieden werden.

Wird ein leitender Körper in Luft oder ein anderes ähnliches Medium eingetaucht, welches aus frei beweglichen elektrisirbaren Theilchen besteht oder solche enthält, und wird die Elektrisirung einem sehr raschen Wechsel unterworfen — oder was dasselbe sagen will, verändert die um den Körper herum wirksame elektrostatische Kraft ihre Intensität —, so werden die kleinen Theilchen angezogen und abgestossen und ihr heftiges Anprallen an den Körper kann eine mechanische Bewegung des letzteren veranlassen. Erscheinungen dieser Art sind insofern bemerkenswerth, als dieselben früher mit den gebräuchlichen Apparaten nicht beobachtet worden sind. Wenn eine sehr leichte leitende Kugel an einem äusserst dünnen Drahte aufgehängt und auf ein konstantes aber hohes Potential geladen wird, so bleibt die Kugel in Ruhe. Auch dann, wenn die Spannung sehr schnell variirte, dagegen die kleinen Massentheilchen, Moleküle oder Atome, gleichmässig vertheilt wären, würde keine Bewegung der Kugel erfolgen. Wird aber die eine Seite der leitenden Kugel mit einer dicken isolirenden Schicht bedeckt, so wird der Anprall der Theilchen bewirken, dass sich die Kugel herumbewegt und zwar im Allgemeinen in unregelmässigen Kurven (Fig. 172a). In ähnlicher Weise würde, wie ich bei einer früheren Gelegenheit gezeigt habe, ein Flügel aus Metallblech (Fig. 172b), der, wie angedeutet, theilweise mit einem isolirenden Material bedeckt und auf den Pol der Spule gesetzt ist, so dass er sich auf demselben frei bewegen kann, sich rasch herumdrehen.

Alle diese Erscheinungen, die Sie mit angesehen haben, und andere, die später gezeigt werden sollen, sind eine Folge des Vorhandenseins eines Mediums wie Luft und würden in einem zusammenhängenden Medium nicht stattfinden. Die Wirkung der Luft kann noch besser durch folgenden Versuch erläutert werden. Ich nehme einen Glascylinder *t* (Fig. 173) von etwa 25 mm Durchmesser, an dessen unterem Ende ein Platindraht *w*

eingeschmolzen ist, an welchem ein dünner Lampenfaden f befestigt ist. Ich verbinde den Draht mit dem einen Pol der Spule und setze die Spule in Thätigkeit. Der Platindraht wird nun in schneller Aufeinanderfolge positiv und negativ elektrisch und der Draht und die Luft innerhalb des Cylinders werden durch das Anprallen der Theilchen erhitzt, und zwar kann dieses Anprallen so heftig sein, dass der Kohlenfaden glühend wird. Wenn ich aber Oel in den Cylinder giesse, so hört in demselben Augenblicke, als der Draht von dem Oele bedeckt wird, alle Wirkung scheinbar auf und es tritt keine merkliche Erwärmung ein. Der Grund hiervon ist der, dass das Oel ein praktisch kontinuirliches Medium ist. Die Verschiebungen in einem solchen kontinuirlichen Medium sind bei diesen Frequenzen allem Anschein nach unvergleichlich kleiner als in Luft, so dass die in einem solchen Medium geleistete Arbeit unbedeutend ist. Bei vielmal grösseren Frequenzen würde sich Oel aber sehr verschieden verhalten, da, wenn auch die Verschiebungen nur klein sind, bei viel grösseren Frequenzen in dem Oele eine beträchtliche Arbeit geleistet werden könnte.

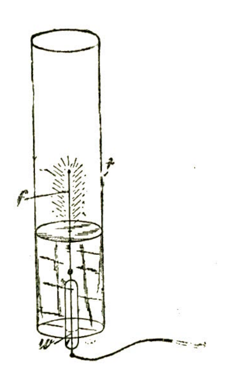


Fig. 173.

Die elektrostatischen Anziehungen und Abstossungen zwischen Körpern von messbaren Dimensionen sind von allen Aeusserungen dieser Kraft die ersten sogenannten **elektrischen** Erscheinungen, die beobachtet wurden. Obwohl uns dieselben seit vielen Jahrhunderten bekannt sind, ist uns doch die genaue Natur des in diesen Wirkungen sich äussernden Mechanismus noch unbekannt und ist bisher nicht einmal befriedigend erklärt worden. Was für eine Art von Mechanismus muss das sein? Wir müssen aufs Höchste erstaunen, wenn wir beobachten, wie sich zwei Magnete mit einer Kraft von Hunderten von Kilogrammen anziehen oder abstossen, ohne dass anscheinend etwas zwischen ihnen ist. Wir haben in unsern in den Handel kommenden Dynamomaschinen Magnete, die im Stande sind, einige Tausend Kilogramm Gewicht mitten in der Luft schwebend zu erhalten. Aber was sind selbst diese zwischen Magneten wirkenden Kräfte verglichen mit den enormen Anziehungen und Abstossungen, welche durch elektrostatische Kraft erzeugt werden, für welche es bezüglich ihrer Intensität anscheinend keine Grenze giebt! Bei Blitzentladungen werden Körper oft zu so hohem Potential geladen, dass sie mit unbegreiflicher Gewalt fortgeschleudert oder auseinandergerissen oder in Stücke zertrümmert werden. Und doch können sich solche Wirkungen noch nicht vergleichen mit den Anziehungen und Ab-

stossungen, welche zwischen geladenen Molekülen und Atomen bestehen und die hinreichen, um dieselben mit Geschwindigkeiten von vielen Kilometern in der Sekunde fortzuschleudern, so dass unter ihrem heftigen Anprall Körper zur höchsten Gluth gebracht und verflüchtigt werden. Es ist für den Denker, der in das Wesen dieser Kräfte einzudringen sucht, hochinteressant zu bemerken, dass, während die Wirkungen zwischen einzelnen Molekülen oder Atomen scheinbar unter allen Verhältnissen eintreten, die Anziehungen und Abstossungen zwischen Körpern von messbaren Dimensionen ein Medium voraussetzen, welches isolirende Eigenschaften besitzt. So hören z. B., wenn Luft entweder durch Verdünnung oder durch Erwärmung zu einem mehr oder weniger leitenden Körper gemacht wird, diese Wirkungen zwischen zwei elektrisirten Körpern praktisch auf, während die Wirkungen zwischen den einzelnen Atomen fortfahren sich zu äussern.

Ein Versuch mag zur Erläuterung und zugleich als Mittel dienen, andere interessante Eigenthümlichkeiten ans Licht zu bringen. Vor einiger Zeit zeigte ich, dass ein in einer Glasbirne angebrachter und mit dem einen Pole des Sekundärkreises einer Spule hoher Spannung verbundener Kohlenfaden oder Draht sich herumdrehte, indem die Spitze des Fadens im Allgemeinen einen Kreis beschrieb. Diese Schwingung war sehr energisch, wenn die Luft in der Glasbirne unter gewöhnlichem Drucke sich befand, und wurde weniger energisch, wenn die Luft in der Birne stark komprimirt wurde. Dieselbe hörte ganz auf, wenn die Luft verdünnt wurde, so dass sie ein verhältnissmässig guter Leiter wurde. Ich fand zu gleicher Zeit, dass keine Schwingung stattfand, wenn die Glasbirne sehr stark evakuirt war. Aber ich vermuthete, dass die Schwingung, welche ich der elektrostatischen Wirkung zwischen den Wänden der Birne und dem Kohlenfaden zuschrieb, auch in einer stark ausgepumpten Glasbirne eintreten müsse. Um dies unter günstigeren Verhältnissen zu prüfen, wurde eine Glasbirne wie die in Fig. 174 dargestellte angefertigt. Dieselbe bestand aus einer Kugel b, in deren Hals ein Platindraht w eingeschmolzen war, der einen dünnen Kohlenfaden f trug. In dem unteren Theile der Kugel war eine Röhre t eingeschmolzen, welche den Faden umgab. Das Auspumpen wurde so weit getrieben, als es mit dem angewendeten Apparate ausführbar war.

Diese Birne bestätigte meine Erwartung, denn der Faden fing beim Einschalten des Stromes an, sich zu drehen und wurde glühend. Sie zeigte noch eine andere interessante auf die vorhergehenden Bemerkungen bezügliche Eigenthümlichkeit; wenn nämlich der Faden eine Zeit lang glühend erhalten wurde, so wurden die enge Röhre und der Raum inner-

halb auf eine hohe Temperatur gebracht, und da das Gas in der Röhre alsdann leitend wurde, so wurde die elektrostatische Attraktion zwischen dem Glase und dem Faden sehr schwach oder hörte auf und der Faden kam zur Ruhe. Wenn er zur Ruhe gekommen war, glühte er noch weit intensiver. Dies rührte wahrscheinlich davon her, dass er diejenige Lage mitten in der Röhre einnahm, wo das Bombardement der Moleküle am intensivsten war, und zum Theil auch von der Thatsache, dass der Anprall der einzelnen Moleküle heftiger war und kein Theil der zugeführten Energie in mechanische Bewegung verwandelt wurde. Da nach den landläufigen Ansichten bei diesem Versuch das Glühen dem Anprallen der Partikeln, Moleküle oder Atome in dem erhitzten Raume zugeschrieben werden müsste, so müsste man somit annehmen, um eine solche Wirkung zu erklären, dass diese Partikeln sich wie unabhängige in einem isolirenden Medium befindliche Träger elektrischer Ladungen verhalten; und doch besteht keine anziehende Kraft zwischen der Glasröhre und dem Faden, da der Raum in der Röhre als Ganzes leitend ist.

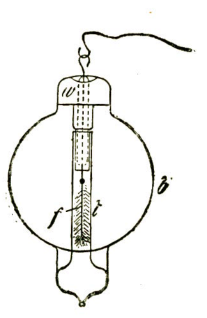


Fig. 174.

Im Zusammenhange hiermit ist es interessant zu bemerken, dass, während die Anziehung zwischen zwei elektrisirten Körpern infolge der Schwächung der isolirenden Kraft des Mediums, in welchem sie sich befinden, aufhören kann, die Abstossung zwischen den Körpern sich noch beobachten lässt. Dies lässt sich in plausibler Weise erklären. Werden die Körper in einiger Entfernung von einander in ein schwach leitendes Medium, wie z. B. wenig erwärmte oder verdünnte Luft gestellt und plötzlich elektrisirt, wobei ihnen entgegengesetzte elektrische Ladungen mitgetheilt werden, so gleichen sich diese Ladungen infolge Zerstreuung durch die Luft mehr oder weniger aus. Werden die Körper aber gleichartig elektrisirt, so ist für eine solche Zerstreuung weniger Gelegenheit gegeben und daher ist die in solchem Falle beobachtete Abstossung grösser als die Anziehung. Abstossende Wirkungen in einem gasförmigen Medium werden jedoch, wie Prof. Crookes gezeigt hat, durch das Bombardement der Moleküle verstärkt.

Ueber Erscheinungen strömender oder dynamischer Elektricität.

Bisher habe ich hauptsächlich Wirkungen betrachtet, wie sie durch eine variirende elektrostatische Kraft in einem isolirenden Medium, z. B. Luft, erzeugt werden. Wirkt eine solche Kraft auf einen leitenden Körper von messbaren Dimensionen, so verursacht sie innerhalb desselben

oder an seiner Oberfläche Verschiebungen der Elektricität und veranlasst elektrische Ströme und diese bringen eine andere Art von Erscheinungen hervor, von denen ich Ihnen einige vorzuführen beabsichtige. Bei der Vorführung dieser zweiten Klasse elektrischer Wirkungen werde ich hauptsächlich diejenigen berücksichtigen, welche ohne jede Rückleitung für den Strom ausführbar sind, wobei ich Ihr Interesse um so mehr zu erregen hoffe, als ich diese Erscheinungen unter einem mehr oder weniger neuen Gesichtspunkte zur Darstellung bringen werde.

Es ist lange Zeit hindurch, infolge der beschränkten Erfahrung mit vibrirenden Strömen, üblich gewesen, einen elektrischen Strom als etwas zu betrachten, das in einem geschlossenen Leiterkreise cirkulirt. Man erstaunte dann zuerst, wenn man sich vorstellen sollte, dass ein Strom auch durch den Leiterkreis fliessen könne, wenn der letztere unterbrochen wäre, und noch überraschender war es zu erfahren, dass es zuweilen leichter sein könne, einen Strom unter solchen Umständen zu erzeugen, als in einem geschlossenen Leiter. Jene alte Anschauung verschwindet jedoch selbst unter den Praktikern immer mehr und dürfte bald ganz vergessen sein.

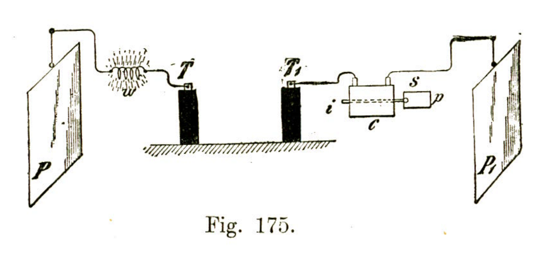


Fig. 175.

Verbinde ich eine isolirte Metallplatte P (Fig. 175) mit dem einen Pol T der Induktionsspule durch einen Draht, so wird, wenn die Spule in Thätigkeit gesetzt ist, durch den Draht ein Strom fliessen, mag die Platte auch noch so gut isolirt sein. Zunächst will ich nachweisen, dass wirklich ein Strom durch den Verbindungsdraht hindurchgeht. Ein bequemer Weg, dies zu zeigen, besteht darin, dass man zwischen den Pol der Spule und die isolirte Platte einen sehr dünnen Platin- oder Neusilberdraht w einschaltet und den letzteren durch den Strom zum Glühen oder Schmelzen bringt. Dies erfordert eine ziemlich grosse Platte oder auch Stromimpulse von sehr hoher Spannung und Frequenz. Ein anderes Verfahren besteht darin, dass man eine, viele Windungen dünnen isolirten Drahtes enthaltende Spule C (Fig. 175) nimmt und dieselbe in die Strombahn zur Platte einschaltet. Verbinde ich das eine Ende der Spule mit dem zu einer andern isolirten Platte P_1 führenden Drahte und das andere Ende mit dem Pole T_1 der Induktionsspule und setze letztere in Thätigkeit, so geht ein Strom durch die eingeschaltete Spule C und das Vorhandensein desselben lässt sich auf verschiedene

Weisen zeigen. Ich schiebe z. B. einen Eisenkern i in die Spule. Ist der Strom von hoher Frequenz, so wird er bei einiger Stärke bald den Eisenkern auf eine merklich höhere Temperatur bringen, da die Hysteresis- und Stromverluste bei so hohen Frequenzen gross sind. Man könnte einen Kern von einigem Umfange nehmen, wobei es wenig ausmacht, ob er untertheilt ist oder nicht, aber gewöhnlicher Eisendraht von 1,5 bis 3,5 mm Stärke ist für den Zweck recht gut geeignet. Während die Induktionsspule in Thätigkeit ist, durchfliesst ein Strom die eingeschaltete Spule und es bedarf nur weniger Augenblicke, um den Eisendraht i zu einer hohen Temperatur zu bringen, die ausreicht, um den Siegellack s zu erweichen und ein mit ihm an dem Eisendraht befestigtes Papierscheibchen abfallen zu lassen. Aber mit dem Apparat, wie ich ihn hier habe, können andere viel interessantere Versuche dieser Art ausgeführt werden. Ich habe hier eine sekundäre Spule s (Fig. 176) aus dickem Draht, die auf eine der ersten ähnliche Spule gewickelt ist. In dem vorhergehenden Versuche war der Strom durch die Spule C (Fig. 175) sehr klein, da die Spule jedoch aus vielen Windungen bestand, so wurde doch in dem Eisendraht eine starke Wärmewirkung erzeugt. Hätte ich jenen Strom durch einen Leiter gesandt, um die Erwärmung des letzteren zu zeigen, so würde vielleicht der Strom zu gering gewesen sein, um die gewünschte Wirkung hervorzubringen. Mittels der jetzigen mit einer sekundären Bewickelung versehenen Spule kann ich nun den durch die Primärspule P gehenden schwachen Strom hoher Spannung in einen starken sekundären Strom niedriger Spannung transformiren und dieser Strom wird ganz sicher das leisten, was ich will. In einen kleinen Glascylinder t (Fig. 176) habe ich einen spiralförmig gewundenen Platindraht w eingeschlossen, wobei der Cylinder bloss zum Schutze des Drahtes dient. An jedem Ende des Glascylinders ist ein Stück starken Drahtes eingeschmolzen, an welches je ein Ende des Platindrahtes w angeschlossen ist. Ich verbinde die Enden der sekundären Wickelung mit jenen Drahtstücken und schalte wie vorher die primäre Wickelung P zwischen die isolirte Platte P_1 und den Pol T_1 der Induktionsspule. Wird die letztere in Thätigkeit gesetzt, so wird der Platindraht w augenblicklich glühend und kann, auch wenn er ziemlich dick ist, geschmolzen werden.

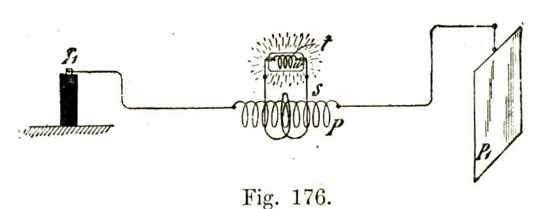


Fig. 176.

Anstatt des Platindrahtes nehme ich jetzt eine gewöhnliche 16-kerzige Lampe zu 50 Volt. Wird die Induktionsspule in Thätigkeit gesetzt, so wird der Kohlenfaden der Lampe hochglühend. Man braucht indessen nicht die isolirte Platte zu benutzen, da die Lampe l (Fig. 177) auch glühend wird, wenn die Platte P_1 abgeschaltet wird. Die sekundäre Spule kann auch, wie in der Fig. 177 durch die punktirte Linie angedeutet ist, mit der primären verbunden werden, um die elektrostatische Indktuion mehr oder weniger zu beseitigen oder die Wirkung sonstwie zu modificiren.

Ich möchte hier Ihre Aufmerksamkeit auf eine Anzahl interessanter Beobachtungen mit der Lampe lenken. Zunächst löse ich die Verbindung des einen Poles der Lampe mit der sekundären Wickelung S. Wenn die Induktionsspule in Thätigkeit ist, so bemerkt man ein Glühen, welches die ganze Glasbirne ausfüllt. Dieses Glühen rührt von der elektrostatischen Induktion her. Es wächst, wenn man die Birne mit der Hand anfsast und die Kapacität des Körpers des Experimentators auf diese Weise zu dem sekundären Stromkreise hinzukommt. Die sekundäre Wickelung ist in der That einer metallischen Umhüllung äquivalent, welche in der Nähe der primären Wickelung angebracht würde. Wäre die sekundäre Wickelung, oder ihr Aequivalent die Umhüllung, symmetrisch zur primären Wickelung angeordnet, so würde die elektrostatische Induktion unter gewöhnlichen Bedingungen, d. h. wenn eine primäre Rückleitung benutzt würde, gleich Null sein, da sich beide Hälften gegenseitig neutralisiren würden. Thatsächlich ist die sekundäre Wickelung symmetrisch zur primären angeordnet, aber die Wirkung beider Hälften der letzteren ist, wenn nur eins ihrer Enden mit der Induktionsspule verbunden ist, nicht genau gleich; daher findet elektrostatische Induktion statt und somit glüht die Lampenbirne. Ich kann die Wirkung beider Hälften der primären Wickelung nahezu gleich machen, indem ich das andere freie Ende derselben mit der isolirten Platte, wie bei dem vorigen Versuch, verbinde. Ist dies geschehen, so hört das Glühen auf. Bei einer kleineren Platte würde dasselbe jedoch nicht vollständig verschwinden, vielmehr würde es bei geschlossener sekun-

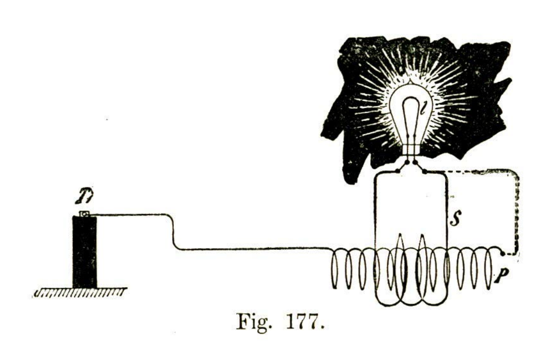


Fig. 177.

därer Wickelung dazu beitragen, den Glanz des Kohlenfadens durch Erwärmung der Luft in der Birne zu verstärken.

Um eine andere interessante Erscheinung zu zeigen, habe ich die benutzten Spulen in bestimmter Weise regulirt. Ich verbinde zunächst beide Pole der Lampe mit der sekundären Spule, während das eine Ende der primären Spule mit dem Pole T_1 der Induktionsspule und das andere mit der isolirten Platte P_1 verbunden ist, wie vorher. Wird der Strom eingeschaltet, so glüht die Lampe hell auf, wie in Fig. 178b dargestellt ist, in welcher C eine Spule aus dünnem Draht und S eine über dieselbe gewundene sekundäre Spule aus dickem Draht ist. Wird die isolirte Platte P_1 losgetrennt, indem das eine Ende a der primären Spule isolirt bleibt, so wird der Kohlenfaden dunkel oder nimmt wenigstens im Allgemeinen an Glanz ab (Fig. 178a). Verbindet man wiederum die Platte P_1 und steigert die Frequenz des Stromes, so wird der Faden vollkommen dunkel oder kaum roth (Fig. 179b). Ich trenne nochmals die Platte ab. Man wird dann natürlich schliessen, dass, nachdem die Platte losgetrennt ist, der Strom durch die primäre Spule schwächer wird, dass somit die Spannung in der sekundären Spule S fällt und die Helligkeit der Lampe geringer wird. Dies ist möglich und kann durch eine leichte Regulirung der Spulen, sowie auch durch Variirung der Frequenz und Spannung der Ströme erreicht werden. Es ist aber vielleicht von grösserem Interesse zu sehen, dass die Helligkeit der Lampe zunimmt, wenn die Platte losgelöst wird (Fig. 179a). In diesem Falle ist die gesammte Energie, welche die Primärspule erhält, in derselben vertheilt gleich der Ladung einer Batterie in einem Oceankabel, der grösste Theil dieser Energie wird jedoch

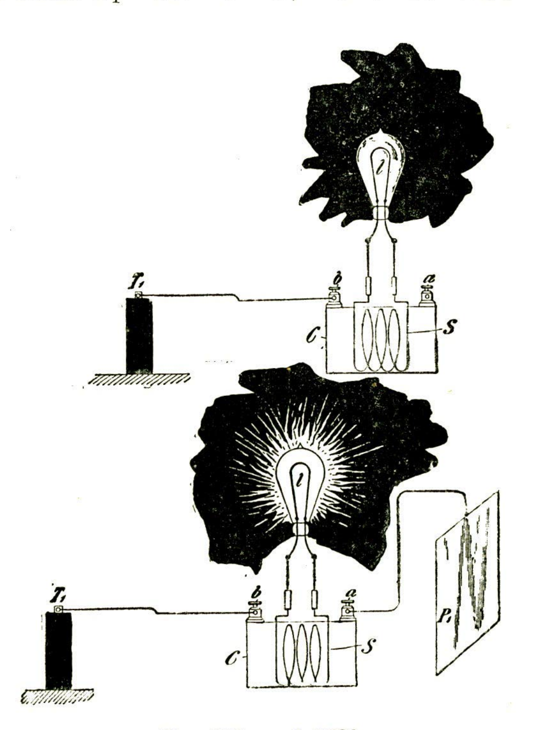


Fig. 178a und 178b.

mittels der sekundären Spule wieder erhalten und zur Beleuchtung der Lampe verwendet. Der die primäre Spule durchfliessende Strom ist am stärksten an dem mit dem Pole T_1 der Induktionsspule verbundenen Ende b und nimmt nach dem entfernteren Ende a hin an Stärke ab. Die dynamische induktive Wirkung, welche auf die sekundäre Wickelung S ausgeübt wird, ist jedoch jetzt grösser als zuvor, wo die aufgehängte Platte mit der primären Spule verbunden war. Diese Resultate könnten durch eine Reihe von Ursachen hervorgebracht sein. Z. B. kann, wenn die Platte P_1 angeschlossen ist, die Rückwirkung von der Spule C derart sein, dass sie die Spannung an dem Pole T_1 der Induktionsspule verringert und daher den Strom durch den Primärkreis der Spule C schwächt. Oder die Abtrennung der Platte kann die Kapacitätswirkung bezüglich der primären Wickelung der letzteren Spule in solchem Grade vermindern, dass der dieselbe durchfliessende Strom verringert wird, obwohl die Spannung an der Klemme T_1 der Induktionsspule dieselbe oder noch höher sein kann. Oder das Resultat könnte auch durch die Aenderung der Phase des primären und sekundären Stromes und die daraus sich ergebende Reaktion verursacht sein. Die Hauptbestimmungsfaktoren sind jedoch das Verhältniss der Selbstinduktion und Kapacität der Spule C und Platte P_1 und die Frequenz der Ströme. Die grössere Helligkeit des Fadens in Fig. 179a rührt indessen zum Theil von der Erwärmung des verdünnten Gases in der Lampe infolge elektrostatischer Induktion her, welche, wie vorher bemerkt, grösser ist, wenn die aufgehängte Platte losgetrennt ist.

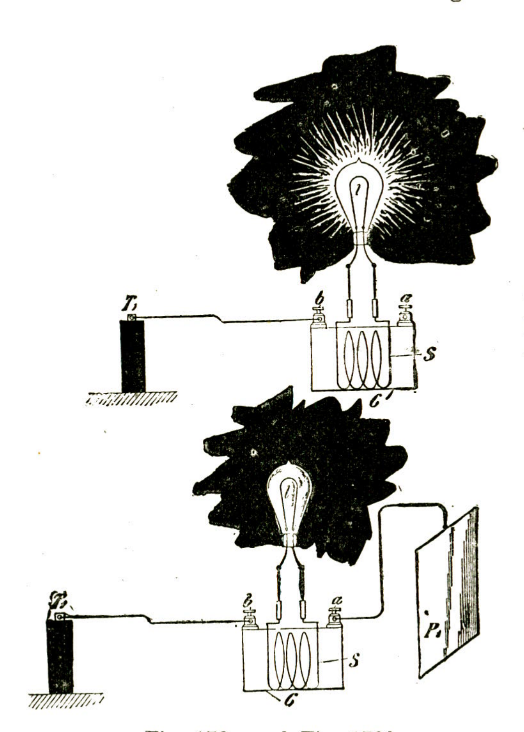


Fig. 179a und Fig. 179b.

Noch auf eine andere Erscheinung von einigem Interesse will ich Sie hier aufmerksam machen. Wird die isolirte Platte abgetrennt und

der Sekundärkreis der Spule geöffnet, so können, wenn man der sekundären Spule einen kleinen Gegenstand nähert, nur sehr kleine Funken aus derselben gezogen werden, woraus hervorgeht, dass die elektrostatische Induktion in diesem Falle gering ist. Wird jedoch die sekundäre Wickelung in sich oder durch die Lampe geschlossen, wobei der Kohlenfaden hell glüht, so werden starke Funken aus der sekundären Wickelung erhalten. Die elektrostatische Induktion ist jetzt viel grösser, weil die geschlossene Sekundärspule einen grösseren Stromfluss durch die primäre Spule und hauptsächlich durch jene Hälfte derselben, welche mit der Induktionsspule verbunden ist, zur Folge hat. Fasst man jetzt die Lampenbirne mit der Hand an, so wird die Kapacität der sekundären Spule in Bezug auf die primäre durch den Körper des Experimentators vergrössert und die Leuchtkraft des Kohlenfadens verstärkt, und zwar ist das Glühen desselben zum Theil dem Stromfluss durch den Faden und zum Theil dem Bombardement der Moleküle des verdünnten Gases in der Lampenbirne zuzuschreiben.

Die vorhergehenden Versuche werden auf die nächstfolgenden interessanten Resultate, welche im Laufe dieser Untersuchungen erhalten wurden, vorbereitet haben. Da ich einen Strom durch einen isolirten Eisendraht senden kann, indem ich bloss das eine Ende desselben mit der Quelle der elektrischen Energie verbinde, da ich durch diesen einen andern Strom zu induciren, einen Eisenkern zu magnetisiren, kurz alle Operationen auszuführen im Stande bin, gleich als ob eine Rückleitung benutzt würde, so werde ich offenbar auch einen Motor mit Hülfe nur eines Drahtes betreiben können. Bei früherer Gelegenheit habe ich eine einfache Form eines Motors beschrieben, der nur aus einer einzigen Erregungsspule, einem Eisenkern und einer Scheibe besteht. Fig. 180 stellt eine modificirte Methode der Bethätigung eines solchen Wechselstrommotors durch Ströme, die in einem an eine einzige Leitung angeschlossenen Transformator inducirt werden, sowie mehrere andere Anordnungen von Stromkreisen zum Betriebe einer gewissen auf der Wirkung der Ströme von verschiedener Phase beruhenden Klasse von Wechselstrommotoren dar. Mit Rücksicht auf den gegenwärtigen Stand der Technik wird es genügen, diese Anordnungen nur mit ein paar Worten zu beschreiben. Das Diagramm Fig. 180 *II* zeigt eine primäre Spule P, welche mit einem ihrer Enden an die von der einen Klemme T_1 eines Hochspannungstransformators ausgehende Leitung L angeschlossen ist. In induktiver Beziehung zu dieser Primärspule P steht eine sekundäre Spule S aus dickem Drahte, in deren Stromkreis sich eine Spule c befindet. Die in der sekundären Spule inducirten Ströme magnetisiren

den Eisenkern i, der am besten, jedoch nicht nothwendig, untertheilt ist, und setzen die Metallscheibe d in Rotation. Ein solcher Motor M_1, wie er in Fig. 180 *II* schematisch dargestellt ist, ist ein „durch magnetische Trägheit wirkender Motor“ genannt worden, doch kann gegen diesen Ausdruck von denjenigen Einspruch erhoben werden, welche die Rotation der Scheibe den Wirbelströmen zuschreiben, die in kleinen Bahnen cirkuliren, wenn der Kern i in eine endliche Anzahl von Theilen getheilt ist. Um einen solchen Motor in der angegebenen Weise erfolgreich zu betreiben, sollten die Frequenzen nicht zu hoch sein, nicht mehr als vier oder fünf Tausend per Sekunde, obwohl eine Rotation auch bei Frequenzen von zehn Tausend per Sekunde oder mehr noch hervorgebracht wird.

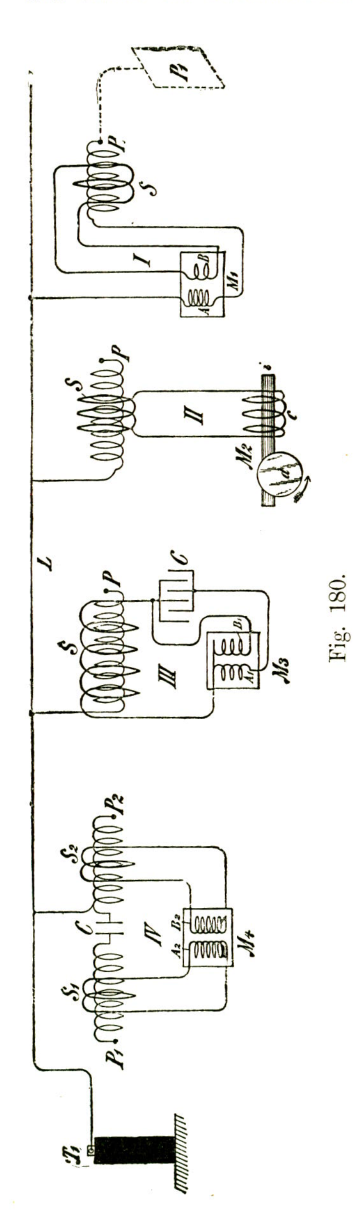


Fig. 180.

In Fig. 180 *I* ist ein Motor M_1 mit zwei Erregungsstromkreisen A und B schematisch dargestellt. Der Stromkreis A ist mit der Leitung L verbunden und in Serie mit ihm befindet sich eine primäre Spule P, deren freies Ende mit einer isolirten Platte P_1 verbunden sein kann, was durch die punktirten Linien angedeutet ist. Der andere Motorstromkreis B ist mit der sekundären Spule S verbunden, welche mit der primären Spule P in induktiver Beziehung steht. Wird der Transformatorpol T_1 alternirend elektrisirt, so durchfliessen Ströme die offene Leitung L und ebenso den Stromkreis A und die primäre Spule P. Die durch letztere fliessenden Ströme induciren in dem Stromkreise S sekundäre Ströme, welche durch die Erregungsspule B des Motors gehen. Die Ströme durch die sekundäre Spule S und diejenigen durch die primäre Spule P haben einen Phasenunterschied von 90^0 oder nahezu 90^0 und sind im Stande, einen Anker

in Rotation zu bringen, der zu den Stromkreisen A und B in induktiver Beziehung steht.

In Fig. 180 *III* ist ein ähnlicher Motor M_3 mit zwei Erregungsstromkreisen A_1 und B_1 dargestellt. Zu einer mit einem ihrer Enden an die Leitung L angeschlossenen primären Spule P gehört eine sekundäre Spule S, welche am besten für eine mässig hohe Spannung gewickelt ist und mit welcher die beiden Erregungsstromkreise des Motors verbunden sind, und zwar der eine direkt mit den Enden der sekundären Spule und der andere durch Vermittelung eines Kondensators C, durch dessen Wirkung die den Stromkreis A_1 und B_1 durchfliessenden Ströme in ihrer Phase gegen einander verschoben werden.

In Fig. 180 *IV* ist noch eine andere Einrichtung gezeigt. In diesem Falle sind zwei Primärspulen P_1 und P_2 mit der Leitung L verbunden, und zwar die eine durch Vermittelung eines Kondensators C von geringer Kapacität und die andere direkt. Die Primärspulen sind mit sekundären Spulen S_1 und S_2 versehen, die mit den Erregungsstromkreisen A_2 und B_2 eines Motors M_4 hinter einander geschaltet sind, wobei der Kondensator C wiederum zur Erzeugung der erforderlichen Phasendifferenz zwischen den die Motorstromkreise durchfliessenden Strömen dient. Da derartige Phasenmotoren mit zwei oder mehr Stromkreisen heutzutage in der Technik wohlbekannt sind, so sind dieselben nur schematisch dargestellt worden. Einen Motor auf die angedeutete oder auf ähnliche Weise zu betreiben, bietet durchaus keine Schwierigkeit; und obwohl derartige Versuche zur Zeit nur wissenschaftliches Interesse darbieten, so können sie doch vielleicht in einer nicht zu fernen Zeit für praktische Zwecke verwerthet werden.

Es dürfte hier am Platze sein, einige Bemerkungen über den Gegenstand des Betriebes von Apparaten aller Art mittels nur eines Zuführungsdrahtes zu machen. Es ist ohne Weiteres klar, dass, wenn Ströme hoher Frequenz benutzt werden, Erdverbindungen — wenigstens wenn die elektromotorische Kraft der Ströme gross ist — besser sind als eine Rückleitung. Solche Erdverbindungen sind bei konstanten Strömen oder Strömen niedriger Frequenz wegen der zerstörenden chemischen Wirkungen der ersteren und der von beiden auf in der Nähe befindliche Stromkreise ausgeübten störenden Einflüsse nicht einwandfrei; bei hohen Frequenzen aber existiren diese Wirkungen praktisch gar nicht. Ueberdies werden auch Erdverbindungen überflüssig, wenn die elektromotorische Kraft sehr hoch ist, denn es wird bald ein Zustand erreicht, wo der Strom ökonomischer durch einen offenen, wie durch einen geschlossenen Stromkreis gesandt werden kann. So fernliegend auch

eine industrielle Anwendung einer Energieübertragung mittels eines einzigen Drahtes demjenigen erscheinen mag, der in Versuchen dieser Art nicht erfahren ist, so dürfte dies doch nicht bei demjenigen der Fall sein, welcher einige Zeit hindurch Untersuchungen dieser Art angestellt hat. In der That sehe ich nicht, warum dieser Weg nicht gangbar sein sollte. Auch darf man nicht glauben, dass zur Ausführung eines solchen Planes Ströme von sehr hoher Frequenz unbedingt erforderlich sind; denn sobald Spannungen von etwa 30000 Volt benutzt werden, lässt sich die Energieübertragung mittels eines einzigen Drahtes auch mit niedrigen Frequenzen bewerkstelligen und ich habe Versuche nach dieser Richtung angestellt, aus denen diese Folgerungen gezogen sind.

Bei sehr hohen Frequenzen erwies es sich in der Laboratoriumspraxis als sehr leicht, die Wirkungen auf die in Fig. 181 schematisch dargestellte Weise zu reguliren. In der Figur sind zwei Primärspulen P

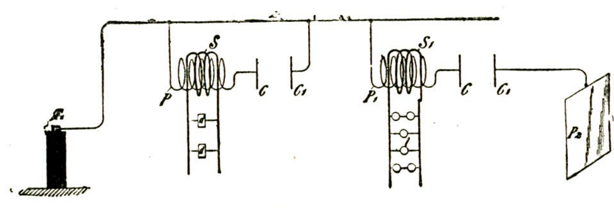


Fig. 181.

und P_1 gezeichnet, welche je mit einem ihrer Enden mit der Linie L und mit dem andern mit den Kondensatorplatten C und C respektive verbunden sind. In der Nähe derselben sind zwei andere Kondensatorplatten C_1 und C_1 aufgestellt, von denen die erstere mit der Linie L und die letztere mit einer isolirten grösseren Platte P_2 verbunden ist. Auf die Primärspulen sind Sekundärspulen S und S_1 aus dickem Draht gewickelt, welche bezüglich mit den Apparaten d und l verbunden sind. Durch Veränderung der Entfernungen der Kondensatorplatten C und C_1 können auch die Ströme durch die Sekundärspulen S und S_1 in ihrer Stärke variirt werden. Die seltsamste Erscheinung hierbei ist die grosse Empfindlichkeit, indem die geringste Aenderung des Plattenabstandes beträchtliche Aenderungen in der Stärke der Ströme hervorbringt. Die Empfindlichkeit kann ausserordentlich gross gemacht werden, wenn man die Frequenz derart einrichtet, dass die primäre Spule für sich selbst, ohne dass eine Platte an ihrem freien Ende befestigt ist, in Verbindung mit der geschlossenen Sekundärspule die Bedingung der Resonanz erfüllt. Unter solchen Umständen bringt eine ausserordentlich kleine Aenderung

in der Kapacität des freien Poles grosse Variationen hervor. Z. B. vermochte ich die Verhältnisse derart zu reguliren, dass die blosse Annäherung eines Menschen an die Spule eine beträchtliche Aenderung in der Helligkeit der an die sekundäre Spule angeschlossenen Lampen zur Folge hatte. Derartige Beobachtungen und Versuche besitzen natürlich gegenwärtig hauptsächlich wissenschaftliches Interesse, doch können sie möglicher Weise bald von praktischer Bedeutung werden.

Sehr hohe Frequenzen sind selbstverständlich bei Motoren wegen der Nothwendigkeit der Verwendung von Eisenkernen nicht anwendbar. Man kann jedoch plötzliche Entladungen von niedriger Frequenz benutzen und auf diese Weise gewisse Vortheile der Ströme hoher Frequenz erreichen, ohne dass der Eisenkern ganz unfähig würde, den Wechseln zu folgen, und ohne auf den Kern einen grossen Energieaufwand zu verwenden. Ich habe es als völlig ausführbar gefunden, Wechselstrom-

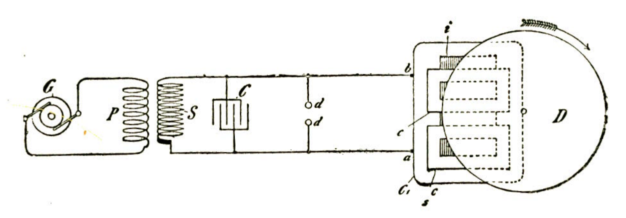


Fig. 182.

motoren mit solchen disruptiven Kondensator-Entladungen von niedriger Frequenz zu betreiben. Gewisse Motoren dieser Art, auf die ich vor einigen Jahren hingewiesen habe, und die geschlossene sekundäre Stromkreise besitzen, werden ziemlich kräftig rotiren, wenn die Entladungen durch die Erregungsspulen gesandt werden. Ein Grund, weshalb ein solcher Motor bei diesen Entladungen so gut funktionirt, ist der, dass die Phasendifferenz zwischen dem primären und sekundären Strome 90^0 beträgt, was im Allgemeinen bei harmonisch steigenden und fallenden Strömen geringer Frequenz nicht der Fall ist. Es dürfte nicht ohne Interesse sein, einen Versuch mit einem einfachen Motor dieser Art vorzuführen, zumal da man gewöhnlich glaubt, dass disruptive Entladungen für solche Zwecke untauglich sind. Der Motor ist in Fig. 182 dargestellt. Er besteht aus einem ziemlich starken Eisenkern *i* mit Nuthen an der oberen Fläche, in welche dicke Kupferbleche *c c* eingelagert sind. In der Nähe des Kernes befindet sich eine frei bewegliche Metallscheibe *D*. Der Kern ist mit einer primären Erregungsspule C_1 versehen, deren Enden *a* und *b* mit den Klemmen der sekundären Wicke-

lung S eines gewöhnlichen Transformators verbunden sind, während die primäre Wickelung P des letzteren mit einem Wechselstromvertheilungsnetz oder -Generator G von niedriger oder mässiger Frequenz in Verbindung steht. Die Enden der sekundären Wickelung S sind an einen Kondensator C angelegt, der durch eine Luftstrecke dd entladet, die in Serie oder in Nebenschluss zur Spule C_1 geschaltet werden kann. Werden die Verhältnisse entsprechend gewählt, so rotirt die Scheibe D mit erheblicher Kraft und der Eisenkern i wird nicht merklich heiss. Bei Strömen von einer Wechselstrommaschine hoher Frequenz dagegen wird der Kern schnell heiss und die Scheibe rotirt mit viel geringerer Kraft. Um das Experiment zweckmässig auszuführen, muss man sich zuerst überzeugen, dass die Scheibe D nicht in Rotation versetzt wird, wenn eine Entladung bei dd nicht stattfindet. Man benutzt am besten einen grossen Eisenkern und einen Kondensator von grosser Kapacität, um die aufgelagerte schnellere Oscillation nach Möglichkeit zu reduciren oder ganz zu beseitigen. Durch Innehaltung gewisser elementarer Regeln habe ich es auch als ausführbar erkannt, gewöhnliche Hauptschluss- oder Nebenschluss-Gleichstrommotoren mit derartigen disruptiven Entladungen zu betreiben, und zwar kann dies mit oder ohne Rückleitung geschehen.

Impedanzerscheinungen.

Unter den verschiedenen beobachteten Stromerscheinungen sind vielleicht die interessantesten diejenigen der Impedanz, welche Leiter rasch variirenden Strömen entgegensetzen. In meinem ersten Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers habe ich einige überraschende Beobachtungen dieser Art beschrieben. Z. B. habe ich gezeigt, dass, wenn solche Ströme oder plötzliche Entladungen durch einen dicken Metallstab gesandt werden, auf dem Stabe nur einige Centimeter von einander entfernte Punkte vorhanden sind, die eine hinreichende Spannungsdifferenz besitzen, um einen gewöhnlichen Glühlampenfaden in heller Gluth zu erhalten. Ich habe auch das merkwürdige Verhalten des einen Leiter umgebenden verdünnten Gases, welches von solchen plötzlichen Stromstössen herrührt, beschrieben. Diese Erscheinungen sind seitdem sorgfältiger studirt worden und ein oder zwei neue Versuche dieser Art dürften genügendes Interesse bieten, um an dieser Stelle beschrieben zu werden.

In Fig. 183a sind B und B_1 ziemlich starke Kupferstangen, die mit ihren unteren Enden bezüglich mit den Platten C und C_1 eines Kondensators verbunden sind, während die gegenüber stehenden Platten des

letzteren an die Klemmen der sekundären Spule S eines Hochspannungstransformators angeschlossen sind, dessen Primärspule P aus einer gewöhnlichen Dynamo niedriger Frequenz G oder einem Vertheilungsnetze Wechselströme zugeführt erhält. Der Kondensator entladet wie gewöhnlich durch eine regulirbare Luftstrecke *dd*. Durch Herstellung einer raschen Schwingung konnte leicht der folgende merkwürdige Versuch ausgeführt werden. Die Stangen B und B_1 wurden an ihrem oberen

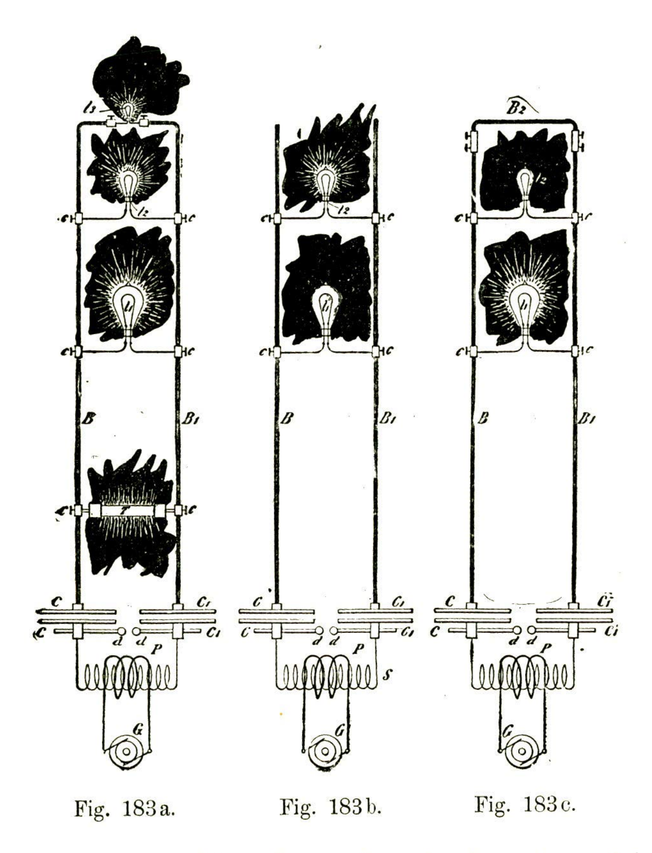


Fig. 183a. Fig. 183b. Fig. 183c.

Ende mit einer niedrigvoltigen Lampe l_3 verbunden; etwas tiefer wurde mittels Klemmschrauben *cc* eine 50 voltige Lampe l_2, noch etwas tiefer eine 100 Volt-Lampe und schliesslich in einer gewissen Entfernung unterhalb der letzteren Lampe eine evakuirte Röhre T angebracht. Durch sorgfältige Bestimmung der Lagen dieser Apparate wurde erreicht, dass sie alle mit der ihnen eigenthümlichen Leuchtkraft brannten. Und doch waren sie alle in Parallelschaltung an die beiden starken Kupferstangen angeschlossen und erforderten weit von einander verschiedene Spannungen.

Dieser Versuch erfordert natürlich einige Zeit wegen der Regulirung, doch ist er sehr leicht auszuführen.

In den Fig. 183b und 183c sind zwei andere Versuche dargestellt, welche im Gegensatz zu dem vorigen Versuche keine sehr sorgfältigen Regulirungen erfordern. In Fig. 183b sind zwei Lampen l_1 und l_2, die erstere von 100 Volt, die letztere von 50 Volt, an gewissen Stellen, wie aus der Figur ersichtlich, und zwar die 100 Volt-Lampe unterhalb der 50 Volt-Lampe angebracht. Wenn der Lichtbogen bei $d\,d$ spielt und durch die Stangen $B\,B_1$ plötzliche Entladungen gesandt werden, so wird die 50 Volt-Lampe in der Regel hell brennen oder wenigstens lässt sich dies leicht erreichen, während die 100 Volt-Lampe nur sehr schwach brennt oder völlig dunkel bleibt (Fig. 183b). Werden nun aber die Stangen $B\,B_1$ oben durch eine dicke Querstange B_2 verbunden, so kann man leicht erreichen, dass die 100 Volt-Lampe mit ihrer vollen Kerzenstärke brennt, während die 50 Volt-Lampe dunkel bleibt (Fig. 183c). Diese Resultate dürfen, wie ich früher ausgeführt habe, nicht der Frequenz allein zugeschrieben werden, sondern vielmehr der Geschwindigkeit der Aenderung, die auch bei niedrigen Frequenzen gross sein kann. Es können noch zahlreiche andere Resultate dieser Art, die in gleicher Weise interessant sind, insbesondere für diejenigen, welche nur mit konstanten Strömen zu handtiren gewohnt sind, erhalten werden; dieselben geben werthvolle Aufschlüsse bei der Untersuchung des Wesens der elektrischen Ströme.

In den vorhergehenden Experimenten habe ich bereits Gelegenheit gehabt, einige Lichterscheinungen vorzuführen, und es würde jetzt angemessen sein, dieselben im Einzelnen zu studiren. Um aber diese Untersuchung zu vervollständigen, halte ich es für nothwendig, erst einige Bemerkungen über den Gegenstand der elektrischen Resonanz vorauszuschicken, welche bei der Ausführung dieser Versuche stets zu beobachten ist.

Ueber elektrische Resonanz.

Den Wirkungen der Resonanz wird von den Ingenieuren immer mehr Beachtung geschenkt und sie werden von grosser Wichtigkeit im praktischen Betriebe aller Arten von Wechselstromapparaten. Es mögen daher einige allgemeine Bemerkungen bezüglich dieser Wirkungen gestattet sein. Offenbar wird, falls es uns gelingt, die Wirkungen der Resonanz beim Betriebe elektrischer Vorrichtungen praktisch zu verwenden, die Rückleitung natürlich unnöthig werden, da die elektrische Schwingung

mit einem Drahte gerade so gut und zuweilen noch besser fortgeleitet werden kann wie mit zweien. Die zunächst zu beantwortende Frage ist daher, ob reine Resonanzwirkungen überhaupt hervorzubringen sind. Theorie und Erfahrung zeigen beide, dass dies in der Natur unmöglich ist, da, sobald die Oscillation stärker und stärker wird, die Verluste in den schwingenden Körpern und den umgebenden Medien zunehmen und nothwendig die Schwingung, die sonst ins Unendliche zunehmen würde, hemmen. Es ist ein glücklicher Umstand, dass sich reine Resonanz nicht hervorbringen lässt, denn wäre dies der Fall, so liesse sich kaum sagen, welchen Gefahren der ahnungslose Experimentator ausgesetzt sein würde. Bis zu einem gewissen Grade jedoch ist es möglich, Resonanz zu erzeugen, und zwar ist die Grösse der Wirkungen begrenzt durch die unvollkommene Leitungsfähigkeit und die unvollkommene Elasticität der Medien oder, allgemein gesprochen, durch Reibungsverluste. Je kleiner diese Verluste sind, um so überraschender sind die Wirkungen. Dasselbe gilt von mechanischen Schwingungen. Ein starker Stahlstab kann durch in geeigneten Zwischenräumen auf ihn herabfallende Wassertropfen in Schwingungen versetzt werden; bei Glas, welches vollkommener elastisch ist, ist die Resonanzwirkung noch auffallender, denn ein Weinglas kann zerspringen, wenn man in dasselbe einen Ton von geeigneter Höhe hineinsingt. Die elektrische Resonanz wird um so vollkommener erhalten, je geringer der Widerstand oder die Impedanz des Leiters und je vollkommener das Dielektrikum ist. Bei einer Leydener Flasche, die durch einen kurzen Kabelstrang aus dünnen Drähten entladen wird, sind diese Erfordernisse wahrscheinlich am besten erfüllt und die Resonanzwirkungen sind daher ausgezeichnet. Dies ist nicht der Fall bei Dynamomaschinen, Transformatoren und ihren Stromkreisen oder überhaupt bei durch den Handel zu beziehenden Apparaten, bei denen das Vorhandensein von Eisenkernen die Wirkung komplicirt oder unmöglich macht. Bezüglich der Leydener Flaschen, mit denen Resonanzwirkungen häufig demonstrirt werden, möchte ich bemerken, dass die beobachteten Wirkungen oft wahrer Resonanz zugeschrieben werden, aber selten von ihr herrühren, da ein Irrthum in dieser Beziehung leicht möglich ist. Dies kann durch folgenden Versuch unzweifelhaft erwiesen werden. Man nehme z. B. zwei grosse isolirte Metallplatten oder Kugeln, die wir mit A und B bezeichnen wollen, stelle sie in einer bestimmten kleinen Entfernung von einander auf und lade sie mit einer Reibungs- oder Influenzmaschine zu einem so hohen Potential, dass auch eine geringfügige Erhöhung der Potentialdifferenz zwischen ihnen das Durchschlagen des kleinen Luft- oder isolirenden Zwischenraumes zur Folge hat. Man er-

reicht dies leicht durch Anstellung einiger Probeversuche. Wird nun eine andere Platte, die an einem isolirenden Handgriff befestigt und mittels eines Drahtes mit der einen Klemme des Hochspannungs-Sekundärkreises einer von einer Wechselstrommaschine (am besten von hoher Frequenz) bethätigten Induktionsspule verbunden ist, einem der geladenen Körper A oder B genähert, derart dass sie sich näher an dem einen von beiden befindet, so wird die Entladung fortwährend zwischen beiden Körpern erfolgen; wenigstens wird sie dies, wenn die Spannung der Spule nebst der Platte genügend hoch ist. Die Erklärung hiervon ergiebt sich aber bald aus dem Umstande, dass die angenäherte Platte induktiv auf die Körper A und B wirkt und den Uebergang eines Funkens zwischen ihnen veranlasst. Beim Eintreten dieses Funkens müssen die Ladungen, welche vorher diesen Körpern aus der Influenzmaschine mitgetheilt waren, verloren gehen, da die Körper durch den zwischen ihnen gebildeten Lichtbogen in elektrische Verbindung gebracht werden. Nun entsteht aber dieser Lichtbogen, mag Resonanz vorhanden sein oder nicht. Aber selbst wenn der Funken nicht entstünde, würde doch noch eine alternirende elektromotorische Kraft zwischen den Körpern erzeugt werden, wenn die Platte dem einen mehr genähert wird wie dem andern; daher wird die Annäherung der Platte, falls sie nicht durch ihre induktive Wirkung den Luftraum stets wirklich durchschlägt, ihn jedenfalls zu durchschlagen suchen. Anstatt der Kugeln oder Platten A und B kann man mit demselben Resultat die Belegungen einer Leydener Flasche und an Stelle der Maschine, welche am besten eine Wechselstrommaschine hoher Frequenz ist, da diese sich sowohl für den Versuch als auch für die Beweisführung besser eignet, eine Leydener Flasche oder eine Batterie von Flaschen nehmen. Werden solche Flaschen durch einen Stromkreis von geringem Widerstande entladen, so wird derselbe von Strömen sehr hoher Frequenz durchflossen. Die Platte kann nun mit einer der Belegungen der zweiten Flasche verbunden werden, und wenn dieselbe der ersten, kurz vorher aus einer Influenzmaschine zu hohem Potential geladenen Flasche genähert wird, so ist das Resultat das nämliche wie vorher und die erste Flasche wird durch einen kleinen Luftraum entladen, nachdem die zweite zur Entladung gebracht ist. Beide Flaschen und ihre Stromkreise brauchen aber nicht besser gegen einander abgestimmt zu sein, als etwa ein tiefer Bass gegen den von einer Fliege erzeugten Ton, da durch den Luftraum kleine Funken schlagen oder wenigstens ersterer erheblich mehr gepresst wird infolge der Entstehung einer alternirenden elektromotorischen Kraft durch Induktion, welche eintritt, wenn eine der Flaschen zu entladen beginnt.

Noch ein anderer Irrthum ähnlicher Art wird leicht begangen. Wenn die Stromkreise der beiden Flaschen parallel und dicht neben einander laufen und der Versuch der Entladung der einen durch die andere ausgeführt worden ist und nunmehr eine Drahtspule zu einem der Stromkreise hinzugefügt wird, worauf das Experiment nicht mehr gelingt, so würde der Schluss, dass dies darin seinen Grund habe, dass die Stromkreise jetzt nicht zusammenstimmen, durchaus nicht sicher sein. Denn die beiden Stromkreise wirken wie die Belegungen eines Kondensators und die Hinzufügung der Spule zu dem einen von ihnen ist äquivalent der Ueberbrückung derselben durch einen kleinen Kondensator an derjenigen Stelle, an welcher die Spule sich befindet, und die Wirkung des letzteren könnte darin bestehen, dass der Funken durch Verminderung der alternirenden quer durch den Entladungsraum wirkenden elektromotorischen Kraft am Ueberspringen gehindert wird. Alle diese Bemerkungen und noch viele andere, die hinzugefügt werden könnten, aber aus Furcht, dass sie uns zu weit von dem Gegenstande abführen würden, unterbleiben, bezwecken nur, den arglosen Studenten, welcher eine ganz ungerechtfertigte Meinung von seiner Geschicklichkeit erhalten könnte, wenn er jeden Versuch gelingen sieht, zur Vorsicht zu mahnen; dem Erfahrenen werden sie durchaus nicht als neue Beobachtungen aufgetischt.

Um verlässliche Beobachtungen der elektrischen Resonanzwirkungen auszuführen, ist es wünschenswerth, wenn nicht nothwendig, eine harmonisch steigende und fallende Ströme liefernde Wechselstrommaschine zu verwenden, da beim Arbeiten mit intermittirenden Strömen die Beobachtungen nicht immer zuverlässig sind, weil viele Erscheinungen, welche von der Aenderungsgeschwindigkeit abhängen, mit sehr verschiedenen Frequenzen hevorgebracht werden können. Selbst wenn man solche Beobachtungen mit einer Wechselstrommaschine anstellt, kann man sich täuschen lassen. Wenn ein Stromkreis an eine Wechselstrommaschine angeschlossen ist, giebt es unendlich viele Werthe für die Kapacität und Selbstinduktion, welche zusammen der Bedingung der Resonanz genügen. So giebt es in der Mechanik eine unendliche Zahl von Stimmgabeln, welche auf einen Ton von bestimmter Höhe ansprechen, oder belastete Federn, welche eine bestimmte Schwingungsperiode haben. Aber die Resonanz wird am vollkommensten in jenem Falle erreicht, wo die Bewegung mit der grössten Freiheit ausgeführt wird. Nun ist es in der Mechanik, wenn man die Schwingung in dem gewöhnlichen Medium, d. h. in der Luft betrachtet, von verhältnissmässig geringer Bedeutung, ob die eine Stimmgabel etwas grösser ist als die andere, weil die Ver-

luste in der Luft nicht sehr erheblich sind. Man kann natürlich eine Stimmgabel in ein luftleer gemachtes Gefäss einschliessen und, indem man so den Luftwiderstand auf ein Minimum reducirt, eine bessere Resonanzwirkung erhalten. Jedoch würde der Unterschied nicht sehr gross sein. Es würde aber einen grossen Unterschied ausmachen, wenn die Stimmgabel in Quecksilber getaucht würde. Bei den elektrischen Schwingungen ist es von enormer Wichtigkeit, die Verhältnisse derart einzurichten, dass die Schwingung mit der grössten Freiheit geschehen kann. Die Grösse der Resonanzwirkung hängt unter sonst gleichen Bedingungen von der in Bewegung gesetzten Elektricitätsmenge oder von der Stärke des durch den Stromkreis getriebenen Stromes ab. Der Stromkreis widersetzt sich aber dem Durchgang der Ströme wegen seiner Impedanz und daher ist es, um die beste Wirkung zu erzielen, nothwendig, den scheinbaren Widerstand oder die Impedanz auf ein Minimum zu reduciren. Es ist unmöglich, denselben ganz zu beseitigen, sondern dies geht nur zum Theil, da der Ohm'sche Widerstand nicht beseitigt werden kann. Wenn die Frequenz der Stromimpulse aber sehr gross ist, so wird der Stromfluss praktisch durch die Selbstinduktion bestimmt. Die Selbstinduktion lässt sich aber durch Kombination derselben mit einer Kapacität beseitigen. Ist die Beziehung zwischen diesen beiden derart, dass sie sich bei der benutzten Frequenz gegenseitig aufheben, d. h. solche Werthe haben, durch welche die Bedingung der Resonanz befriedigt wird, und die grösste Elektricitätsmenge durch den äussern Stromkreis fliesst, so wird das beste Resultat erhalten. Es ist einfacher und sicherer, den Kondensator mit der Selbstinduktionsspule hinter einander zu schalten. Es ist klar, dass in solchen Kombinationen für eine gegebene Frequenz, und wenn man nur die Fundamentalschwingung in Betracht zieht, Werthe existiren, welche das beste Resultat geben, wenn der Kondensator im Nebenschluss zur Selbstinduktionsspule liegt, natürlich mehr solche Werthe, als wenn der Kondensator in Serie sich befindet. Indessen bestimmen praktische Verhältnisse die Wahl. Im letzteren Falle kann man nämlich zur Ausführung der Versuche eine kleine Selbstinduktion und eine grosse Kapacität oder eine kleine Kapacität und eine grosse Selbstinduktion nehmen; das letztere ist indessen vorzuziehen, da es unbequem ist, eine grosse Kapacität durch kleine Abstufungen zu reguliren. Nimmt man eine Spule mit sehr grosser Selbstinduktion, so wird die kritische Kapacität auf einen sehr kleinen Werth reducirt und möglicher Weise reicht die Kapacität der Spule selbst aus. Es ist leicht, besonders wenn man gewisse Kunstgriffe beobachtet, eine Spule zu wickeln, durch welche der Werth der Impedanz auf den Ohm'schen Widerstand allein

reducirt wird; und für jede Spule giebt es natürlich eine Frequenz, bei welcher der grösste Strom durch die Spule fliesst. Die Beobachtung des richtigen Verhältnisses zwischen Selbstinduktion, Kapacität und Frequenz ist beim Betriebe von Wechselstromapparaten, wie Transformatoren oder Motoren, von Wichtigkeit geworden, weil durch eine kluge Bestimmung der Elemente die Verwendung eines kostspieligen Kondensators unnöthig geworden ist. Auf diese Weise ist es möglich, durch die Wickelung eines Wechselstrommotors unter den normalen Betriebsbedingungen den erforderlichen Strom mit einer niedrigen Spannung zu senden und den falschen Strom ganz zu beseitigen; und je grösser der Motor ist, um so leichter lässt sich dies bewerkstelligen; hierzu ist es aber nothwendig, Ströme von sehr hoher Spannung oder hoher Frequenz zu verwenden.

In Fig. 184 *I* ist ein Plan dargestellt, welcher bei dem Studium der Resonanzwirkungen mittels einer Wechselstrommaschine von hoher

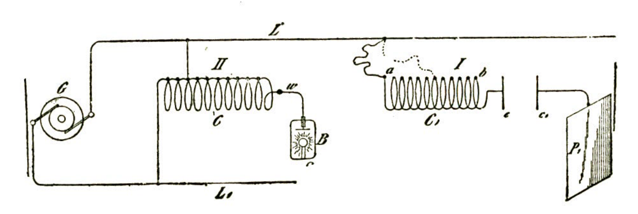


Fig. 184.

Frequenz befolgt wurde. C_1 ist eine Spule aus vielen Windungen, welche zum Zwecke der Regulirung in kleine getrennte Abschnitte getheilt ist. Die schliessliche Regulirung wurde zuweilen mit einigen dünnen Eisendrähten (obwohl dies nicht immer zweckmässig ist) oder mit einer geschlossenen sekundären Spule bewirkt. Die Spule C_1 ist mit dem einen ihrer Enden an die vom Alternator G herkommende Linie L und mit dem andern Ende an eine der Platten c eines Kondensators $c\,c_1$ angeschlossen, dessen andere Platte c_1 mit einer viel grösseren Platte P_1 verbunden ist. Auf diese Weise wurden sowohl Kapacität als Selbstinduktion der Frequenz der Dynamomaschine entsprechend regulirt.

Was die Erhöhung der Spannung durch Resonanzwirkung anbelangt, so kann sie natürlich theoretisch jeden beliebigen Betrag erreichen, da sie von der Selbstinduktion und dem Widerstande abhängt und diese jeden beliebigen Werth haben können. In der Praxis jedoch ist man in der Wahl dieser Werthe beschränkt und ausserdem giebt es noch andere beschränkende Ursachen. Man kann zwar von beispielsweise 1000 Volt

ausgehen und die Spannung auf das Fünfzigfache dieses Werthes steigern, aber man kann nicht von 100 000 Volt ausgehen und die Spannung auf das Zehnfache dieses Werthes steigern wegen der Verluste in den Medien, die beträchtlich sind, besonders wenn die Frequenz hoch ist. Es müsste möglich sein, beispielsweise von 2 Volt eines Dynamostromkreises von hoher oder niedriger Frequenz auszugehen und die elektromotorische Kraft auf einen viele Hunderte Mal grösseren Werth zu steigern. So könnten Spulen der geeigneten Dimensionen je mit dem einen ihrer Enden an die von einer Niederspannungsmaschine ausgehenden Leitungen angeschlossen werden, und obwohl der Stromkreis der Maschine in dem gewöhnlichen Sinne des Wortes nicht geschlossen sein würde, könnte doch die Maschine verbrennen, wenn eine geeignete Resonanzwirkung erhalten würde. Ich bin weder im Stande gewesen, so grosse Spannungserhöhungen zu erzeugen, noch habe ich solche bei Strömen von einer Dynamomaschine beobachtet. Möglicher wenn nicht wahrscheinlicher Weise ist bei Strömen, die von Eisen enthaltenden Apparaten entnommen werden, der störende Einfluss des Eisens die Ursache, dass diese theoretischen Möglichkeiten nicht verwirklicht werden können. Wenn dies aber der Fall ist, so schreibe ich es allein den Verlusten im Kern infolge der Hysteresis und Foucaultströme zu. Im Allgemeinen war es nothwendig, nach aufwärts zu transformiren, wenn die Spannung sehr niedrig war, und in der Regel wurde eine Induktionsspule gewöhnlicher Form verwendet, zuweilen erwies sich jedoch die in Fig. 184 *II* dargestellte Anordnung als zweckmässig. In diesem Falle wurde eine Spule *C* aus sehr vielen Abtheilungen hergestellt, von denen einige als Primärspule dienten. Auf diese Weise ist sowohl die primäre wie die sekundäre Spule regulirbar. Ein Ende der Spule ist mit der einen Leitung L_1 einer Wechselstrommaschine verbunden, während die andere Leitung L mit einem mittleren Punkte der Spule verbunden ist. Eine solche Spule mit regulirbarer Primär- und Sekundärwickelung erweist sich auch bei Versuchen mit der disruptiven Entladung als zweckmässig. Wenn wahre Resonanz erhalten wird, muss natürlich der Wellenbauch an dem freien Ende der Spule, also z. B. an dem Pole der phosphorescirenden Glasbirne *B* liegen. Man erkennt dies leicht, wenn man die Spannung eines Punktes des Drahtes *w* in der Nähe der Spule beobachtet.

Im Zusammenhange mit den Resonanzwirkungen und dem Problem der Energieübertragung mittels eines einzigen Leiters, welches vorher betrachtet wurde, möchte ich noch einige Worte über einen Gegenstand sagen, der beständig mein Denken beschäftigt und der die allgemeine Wohlfahrt betrifft. Ich meine die Uebertragung verständlicher Zeichen

oder vielleicht sogar von Kraft auf irgend eine Entfernung ohne die Verwendung von Drähten. Ich komme täglich mehr zu der Ueberzeugung von der Ausführbarkeit der Sache, und obwohl ich sehr wohl weiss, dass die grosse Mehrzahl der Gelehrten nicht der Meinung ist, dass solche Resultate praktisch und in nächster Zeit realisirt werden können, so glaube ich doch, dass sie alle die in neuerer Zeit von einer Anzahl von Forschern gemachten Fortschritte dazu angethan erachten, um das Nachdenken und Experimentiren nach dieser Richtung zu ermuthigen. Meine Ueberzeugung ist so stark geworden, dass ich diesen Plan der Energie- oder Gedankenübertragung nicht mehr als eine blosse theoretische Möglichkeit sondern für ein ernstes Problem der Elektrotechnik betrachte, welches eines Tages zur Lösung kommen muss. Die Idee der Gedankenübertragung ohne Drähte ist das natürliche Ergebniss der neuesten Resultate elektrischer Untersuchungen. Einige Enthusiasten haben die Meinung ausgesprochen, dass das Telephoniren auf irgend eine Entfernung mittels Induktion durch die Luft möglich sei. Meine Einbildungskraft reicht nicht so weit, dagegen bin ich der festen Meinung, dass es möglich ist, mittels kräftiger Maschinen den elektrostatischen Zustand der Erde zu stören und auf diese Weise verständliche Zeichen und vielleicht sogar Kraft zu übertragen. In der That, was spricht gegen die Ausführung eines solchen Planes? Wir wissen jetzt, dass die elektrischen Wellen mittels eines einzigen Leiters übertragen werden können. Warum sollten wir nicht versuchen, uns der Erde zu diesem Zwecke zu bedienen? Wir brauchen bei dem Gedanken an die Entfernung nicht zu erschrecken. Dem müden Wanderer, der die Meilensteine zählt, mag die Erde sehr gross erscheinen, jenem glücklichsten aller Menschen aber, dem Astronomen, der nach dem Himmel schaut und nach dessen Maassstab die Grösse unserer Erdkugel beurtheilt, erscheint sie sehr klein. Und so, glaube ich, muss sie auch dem Elektriker erscheinen, denn wenn er die Geschwindigkeit betrachtet, mit welcher eine elektrische Störung durch die Erde fortgepflanzt wird, so müssen alle seine gewohnten Vorstellungen über Entfernung völlig schwinden.

Ein Punkt von grosser Wichtigkeit wäre zunächst, zu wissen, welches die Kapacität der Erde ist und welche Ladung sie im elektrisirten Zustande enthält. Obwohl wir keinen positiven Beweis von der Existenz eines geladenen Körpers im Raume haben, ohne dass andere entgegengesetzt elektrisirte Körper in der Nähe wären, so ist es doch höchst wahrscheinlich, dass die Erde ein solcher Körper ist; denn durch welchen Vorgang auch immer die Erde von andern Körpern losgetrennt worden sein mag — und dies ist die angenommene Ansicht über ihren

Ursprung —, sie muss eine Ladung zurückbehalten haben, wie es bei allen Vorgängen mechanischer Trennung der Fall ist. Wenn sie ein geladener im Raume isolirter Körper wäre, so müsste ihre Kapacität ausserordentlich gering, weniger als ein Tausendstel eines Farad sein. Die oberen Schichten der Luft sind jedoch leitend und dasselbe gilt vielleicht von dem Medium im freien Raume jenseits der Atmosphäre, und diese beiden können eine entgegengesetzte Ladung besitzen. Dann könnte die Kapacität unvergleichlich grösser sein. In jedem Falle ist es von der grössten Wichtigkeit, eine Vorstellung davon zu gewinnen, welche Elektricitätsmenge die Erde enthält. Es lässt sich schwer sagen, ob wir je diese nothwendige Kenntniss erlangen werden, aber es ist Hoffnung, dass es möglich sei und zwar mittels elektrischer Resonanz. Wenn wir jemals feststellen können, mit welcher Periode die Ladung der Erde, wenn gestört, mit Bezug auf ein entgegengesetzt elektrisirtes System oder einen bekannten Stromkreis oscillirt, werden wir eine Thatsache kennen, die möglicher Weise von der grössten Wichtigkeit für die Wohlfahrt des Menschengeschlechtes ist. Ich schlage vor, die Periode mittels eines elektrischen Oscillators oder einer Quelle elektrischer Wechselströme zu suchen. Einer der Pole der Quelle wäre mit der Erde, z. B. mit der städtischen Wasserleitung, der andere mit einem isolirten Körper von grosser Oberfläche zu verbinden. Möglicherweise enthalten die äusseren leitenden Luftschichten oder der freie Weltraum eine entgegengesetzte Ladung und bilden zusammen mit der Erde einen Kondensator von sehr grosser Kapacität. In diesem Falle kann die Schwingungsperiode sehr gering sein und es könnte eine Wechselstrommaschine für die Zwecke des Versuchs benutzt werden. Man würde dann den Strom zu einer so hohen Spannung, als es überhaupt möglich ist, transformiren und die Enden des Hochspannungssekundärkreises mit der Erde und dem isolirten Körper verbinden. Durch Variirung der Frequenz der Ströme und sorgfältige Beobachtung des Potentials des isolirten Körpers, sowie Achtgeben auf die an verschiedenen nahegelegenen Punkten der Erdoberfläche auftretende Störung könnte man die Resonanz auffinden. Sollte, wie wahrscheinlich die Mehrzahl der Gelehrten glaubt, die Periode ausserordentlich klein sein, dann wäre eine Dynamomaschine nicht anwendbar, und es müsste ein geeigneter elektrischer Oscillator erfunden werden; vielleicht könnte es auch gar nicht möglich sein, so schnelle Schwingungen zu erzeugen. Aber mag dies möglich sein oder nicht, und mag die Erde eine Ladung enthalten oder nicht, und möge ihre Schwingungsperiode sein, welche sie wolle, es ist — hiervon erhalten wir täglich Beweise — sicher möglich, irgend

eine elektrische Störung zu erzeugen, die genügend kräftig ist, um durch geeignete Instrumente an irgend einer Stelle der Erdoberfläche wahrgenommen werden zu können.

Man nehme an, dass eine Wechselstromquelle, wie in Fig. 185, mit einem ihrer Pole an die Erde (zweckmässig an die Wasserleitungen) und mit dem andern an einen Körper von grosser Oberfläche P angeschlossen sei. Wenn eine elektrische Welle erzeugt wird, so wird innerhalb und ausserhalb von P eine Elektricitätsbewegung stattfinden, und es werden Wechselströme durch die Erde gehen, welche nach dem Punkte C, wo die Erdverbindung hergestellt ist, hin convergiren oder von demselben weg divergiren. Auf diese Weise können die in der Nähe liegenden Punkte auf der Erdoberfläche innerhalb eines gewissen Umkreises gestört werden. Aber die Störung wird mit der Entfernung abnehmen und die Entfernung, bis zu welcher die Wirkung noch wahrnehmbar ist, wird von der in Bewegung gesetzten Elektricitätsmenge abhängen. Da der Körper P isolirt ist, müsste, um eine beträchtliche Elektricitätsmenge zu verschieben, das Potential der Stromquelle ausserordentlich hoch sein, weil man bezüglich der Oberfläche von P an gewisse Grenzen gebunden ist. Die Verhältnisse könnten so regulirt werden, dass der Generator oder die Stromquelle S dieselbe elektrische Bewegung hervorbringt, wie wenn der Stromkreis derselben geschlossen wäre. Auf diese Weise ist es sicher möglich, dass man der Erde mittels einer geeigneten Maschinerie eine elektrische Schwingung, wenigstens von einer gewissen geringen Periode, mittheilen kann. Bis zu welcher Entfernung eine solche Schwingung wahrnehmbar gemacht werden könnte, lässt sich nur vermuthen. Ich habe bei anderer Gelegenheit die Frage erörtert, wie sich die Erde gegen elektrische Störungen verhalten möchte. Es ist zweifellos, dass, da bei einem solchen Versuch die elektrische Dichtigkeit an der Oberfläche mit Rücksicht auf die Grösse der Erde nur ausserordentlich gering sein könnte, die Luft nicht als ein sehr störender Faktor wirken würde, und es würde nicht viel Energie durch die Wirkung der Luft verloren gehen, wie es der Fall sein würde, wenn die Dichtigkeit gross wäre. Theoretisch würde daher kein grosser Energiebetrag erforderlich sein, um eine auf grosse Entfernung oder selbst über die ganze Ober-

Fig. 185.

fläche der Erdkugel wahrnehmbare Störung zu erzeugen. Nun ist es ganz sicher, dass an jedem Punkte innerhalb eines gewissen Radius von der Stromquelle S ein Apparat mit zweckmässig regulirter Selbstinduktion und Kapacität durch Resonanz in Thätigkeit gesetzt werden kann. Aber nicht nur dies ist möglich, sondern es kann auch eine andere der ersten S ähnliche Elektricitätsquelle S_1 (Fig. 185) oder eine beliebige Anzahl von solchen Quellen mit der letzteren synchron bethätigt und dadurch die Schwingung verstärkt und über ein grosses Gebiet verbreitet oder ein Elektricitätsfluss nach oder von der Quelle S_1 erzeugt werden, wenn dieselbe von der entgegengesetzten Phase ist, wie die Quelle S. Ich halte es für unzweifelhaft möglich, elektrische Apparate in einer Stadt vermittelst der Erde oder des Rohrnetzes durch Resonanz von einem an einem centralen Punkte aufgestellten Oscillator zu betreiben. Die praktische Lösung dieses Problems aber würde für die Menschheit von unvergleichlich geringerem Nutzen sein, als die Verwirklichung des Problems der Gedanken- oder vielleicht auch Kraftübertragung auf irgend eine Entfernung vermittelst der Erde oder des umgebenden Mediums. Wenn dies überhaupt möglich ist, so hat das Wort Entfernung jede Bedeutung verloren. Zunächst müssen geeignete Apparate geschaffen werden, mittels deren das Problem in Angriff genommen werden kann, und diesem Gegenstande habe ich viel Nachdenken gewidmet. Ich bin fest überzeugt, dass es möglich sein wird, und ich hoffe, dass wir die Ausführung desselben noch erleben werden.

Ueber die durch Ströme hoher Frequenz und hoher Spannung erzeugten Lichterscheinungen und allgemeine Bemerkungen über den Gegenstand.

Kehren wir nun zu den Lichtwirkungen zurück, deren Untersuchung der Hauptzweck war, so erscheint es mir angemessen, diese Wirkungen in vier Klassen einzutheilen: 1) Glühen eines festen Körpers; 2) Phosphorescenz; 3) Glühen oder Phosphoresciren eines verdünnten Gases und 4) Leuchten erzeugt in einem Gase bei gewöhnlichem Drucke. Die erste Frage ist: Wie werden diese Lichtwirkungen hervorgebracht? Um diese Frage so befriedigend zu beantworten, als ich es im Lichte der angenommenen Anschauungen und mit der gewonnenen Erfahrung zu thun vermag, und um diese Vorführung möglichst interessant zu machen, will ich hier eine Erscheinung behandeln, die ich für sehr wichtig halte, um so mehr, als sie nebenbei ein besseres Licht über die Natur der meisten durch elektrische Ströme hoher Frequenz hervorgebrachten Erscheinungen zu verbreiten verspricht. Ich habe bei anderen Gelegen-

heiten auf die grosse Bedeutung des Vorhandenseins des verdünnten Gases oder überhaupt eines aus Atomen bestehenden Mediums um den von Wechselströmen hoher Frequenz durchflossenen Leiter hinsichtlich der Erwärmung des Leiters durch die Ströme hingewiesen. Meine vor einiger Zeit beschriebenen Versuche haben gezeigt, dass, je höher die Frequenz und Spannungsdifferenz der Ströme ist, um so wichtiger das verdünnte Gas, in welches der Leiter eingetaucht ist, als Faktor der Erwärmung wird. Die Spannungsdifferenz ist jedoch, wie ich damals betont habe, ein wichtigeres Element als die Frequenz. Wenn diese beiden genügend hoch sind, so kann die Erwärmung fast vollständig von der Gegenwart des verdünnten Gases herrühren. Die folgenden Versuche werden die Wichtigkeit des verdünnten Gases oder überhaupt eines Gases bei gewöhnlichem oder einem andern Drucke bezüglich des Glühens oder anderer durch Ströme dieser Art erzeugter Lichteffekte darlegen.

Ich nehme zwei gewöhnliche 50 voltige Glühlampen à 16 N.K., welche in jeder Beziehung einander gleich sind, ausser dass die eine an der Spitze geöffnet wurde und daher die ganze Birne mit Luft erfüllt ist, während die andere das gewöhnliche Vakuum käuflicher Lampen besitzt. Wenn ich die ausgepumpte Lampe mit den Klemmen der sekundären Wickelung der Spule, die ich früher schon benutzte, z. B. bei den in Fig. 179 a dargestellten Versuchen, verbinde und den Strom einschalte, so wird der Kohlenfaden, wie Sie früher gesehen haben, hoch glühend. Befestige ich die zweite mit Luft gefüllte Lampe an Stelle der ersten, so glüht der Faden ebenfalls, aber viel weniger hell. Dieser Versuch erläutert nur zum Theil die Richtigkeit der vorher gemachten Behauptungen. Die Wichtigkeit des Eintauchens des Fadens in ein verdünntes Gas ist wohl ersichtlich, aber nicht in dem Grade, wie man es wünschen möchte. Der Grund ist, dass die sekundäre Wickelung dieser Spule für niedrige Spannung gewickelt ist, nämlich nur 150 Windungen besitzt, und daher die Spannungsdifferenz an den Klemmen der Lampe gering ist. Nähme ich eine andere Spule mit viel mehr Windungen im Sekundärkreise, so würde die Wirkung verstärkt werden, da sie, wie vorher bemerkt, theilweise von der Spannungsdifferenz abhängt. Da aber die Wirkung auch von der Frequenz abhängt, so kann man passend sagen, sie hänge von der Grösse der Aenderung der Spannungsdifferenz in der Zeiteinheit ab. Je grösser diese Aenderung ist, um so wichtiger wird das Gas als Element der Erwärmung. Ich kann eine viel grössere Aenderungsgeschwindigkeit auf eine andere Weise erzeugen, welche ausserdem den Vortheil hat, die Einwände zu beseitigen, welche gegen den eben

angestellten Versuch, auch wenn beide Lampen in Serie oder parallel zur Spule geschaltet würden, erhoben werden könnten, nämlich dass wegen der zwischen der primären und sekundären Spule bestehenden Reaktionen die Folgerungen unsicher würden. Ich erreiche dies Resultat, indem ich mittels eines gewöhnlichen von einer Wechselstromcentrale gespeisten Transformators eine Kondensatorenbatterie lade und letztere direkt durch einen Stromkreis von geringer Selbstinduktion, wie vorher an den Fig. 183 a — c erläutert wurde, entlade.

In den Fig. 186 a, 186 b und 186 c sind die starken Kupferstäbe BB_1 mit den entgegengesetzten Belegungen einer Kondensatorenbatterie oder allgemein in solcher Weise verbunden, dass die Hochfrequenz- oder plötzlichen Entladungen durch sie hindurch gehen müssen. Ich verbinde zunächst mittels der Klemmschrauben *cc* eine gewöhnliche

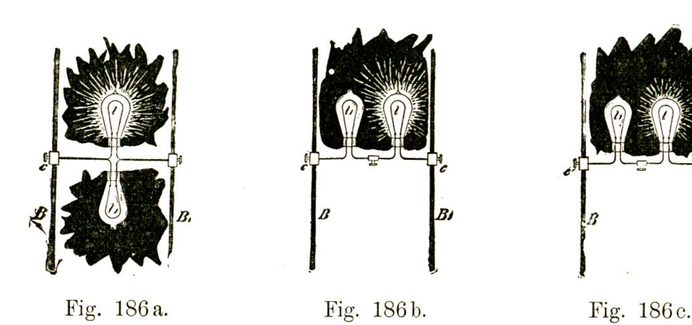


Fig. 186 a. Fig. 186 b. Fig. 186 c.

50 Volt-Glühlampe mit den Stäben. Gehen die Entladungen durch die Lampe, so wird der Kohlenfaden glühend, obwohl der durch ihn hindurchgehende Strom sehr klein ist und durchaus nicht hinreichen würde, um unter den gewöhnlichen Gebrauchsverhältnissen der Lampe eine sichtbare Wirkung zu erzeugen. Anstatt dieser Lampe befestige ich nun an den Stangen eine andere der ersten genau gleiche Lampe, bei welcher jedoch die Zuschmelzstelle weggebrochen ist, so dass die Glasbirne mit Luft unter gewöhnlichem Drucke gefüllt ist. Wenn die Entladungen wie zuvor durch den Kohlenfaden gesandt werden, so wird derselbe nicht glühend. Indessen könnte man dies noch einer der vielen möglichen Gegenwirkungen zuschreiben. Ich schalte daher, wie aus Fig. 186 a ersichtlich, beide Lampen parallel. Jetzt gehen die Entladungen durch beide Lampen, es glüht jedoch nur der Kohlenfaden in der evakuirten Lampe l sehr hell, während derjenige in der nicht ausgepumten Lampe l_1, wie vorher, dunkel bleibt. Man darf jedoch nicht denken, dass die letztere Lampe nur einen kleinen Bruchtheil der beiden Lampen zuge-

führten Energie aufnimmt; im Gegentheil kann sie einen erheblichen Theil der Energie verzehren und sogar heisser werden als die hell brennende. Bei diesem Versuch ändert die Spannungsdifferenz an den Klemmen der Lampen theoretisch drei oder vier Millionen Mal in der Sekunde das Vorzeichen. Die Enden der Lampenfäden werden dementsprechend elektrisirt, und das Gas in den Glasbirnen wird in heftige Bewegung versetzt und auf diese Weise ein grosser Theil der zugeführten Energie in Wärme verwandelt. In der nicht evakuirten Birne, in welcher sich einige Millionen Mal mehr Gasmoleküle befinden als in der evakuirten Birne, verzehrt das Bombardement der letzteren, welches an den Enden des Kohlenfadens im Halse der Lampenbirne am heftigsten ist, einen grossen Theil der Energie, ohne irgend eine sichtbare Wirkung hervorzubringen. Der Grund hiervon ist, dass, da sehr viele Moleküle vorhanden sind, das Bombardement quantitativ erheblich ist, die einzelnen Zusammenstösse aber nicht sehr heftig sind, weil die Geschwindigkeiten der Moleküle infolge der beschränkten freien Bahn verhältnissmässig gering sind. In der evakuirten Birne dagegen sind die Geschwindigkeiten sehr gross und die Einzelstösse sind heftig und daher besser zur Erzeugung einer sichtbaren Wirkung geeignet. Ausserdem ist die Fortleitung der Wärme in der ersten Lampenbirne grösser. In beiden Birnen ist der den Faden durchfliessende Strom sehr klein, unvergleichlich kleiner als der, welchen sie bei einem gewöhnlichen Stromkreise niedriger Frequenz erfordern würden. Die Spannungsdifferenz an den Enden der Fäden ist indessen sehr gross und könnte möglicher Weise 20000 Volt oder mehr betragen, wenn die Fäden gerade und ihre Enden weit von einander entfernt wären. In der gewöhnlichen Lampe tritt im Allgemeinen zwischen den Enden des Fadens oder zwischen den Platindrähten ausserhalb ein Funken auf, ehe eine solche Spannungsdifferenz erreicht werden kann.

Man könnte einwerfen, dass bei dem vorher gezeigten Versuch, wo die Lampen parallel geschaltet sind, die evakuirte Lampe einen weit grösseren Strom aufnehmen könnte und daher die beobachtete Wirkung nicht gerade der Wirkung des Gases in den Lampenbirnen zuzuschreiben wäre. Derartige Einwände würden sehr an Gewicht verlieren, wenn ich die Lampen hinter einander schaltete und dasselbe Resultat erhielte. Geschieht dies und werden die Entladungen durch die Kohlenfäden geleitet, so bemerkt man wiederum, dass der Faden in der nicht evakuirten Birne l_1 dunkel bleibt, während derjenige in der evakuirten l noch intensiver glüht als unter den normalen Betriebsverhältnissen (Fig. 186 b). Nach den allgemeinen Anschauungen sollte nunmehr der

Strom durch die Lampenfäden derselbe sein, würde er nicht durch das Vorhandensein des Gases um die Fäden modificirt.

Im Anschluss hieran möchte ich auf eine andere interessante Eigenthümlichkeit hinweisen, welche die Wirkung der Geschwindigkeit der Aenderung der Spannung der Ströme illustrirt. Ich lasse die beiden Lampen, wie bei dem vorigen Versuch Fig. 186b, hinter einander geschaltet mit den Stäben BB_1 verbunden, vermindere aber die Frequenz der Ströme, die bei dem eben angestellten Versuche ausserordentlich hoch war, erheblich. Dies kann durch Einschaltung einer Selbstinduktionsspule in die Strombahn der Entladungen oder durch Vermehrung der Kapacität der Kondensatoren geschehen. Wenn ich nun diese Entladungen niedriger Frequenz durch die Lampen sende, so wird wiederum die evakuirte Lampe l so hell brennen wie vorher, aber man sieht, dass auch die nicht evakuirte Lampe l_1 glüht, wenn auch nicht so intensiv wie die andere. Vermindert man den durch die Lampen fliessenden Strom, so kann man den Faden in der letzteren Lampe zur Rothgluth bringen, und obwohl der Faden in der evakuirten Lampe l hell glüht, Fig. 186c, ist doch der Grad des Glühens viel kleiner als in Fig. 186b, wo die Ströme von weit höherer Frequenz waren.

In diesen Versuchen wirkt das Gas bei Bestimmung des Grades des Glühens der Fäden auf zwei entgegengesetzte Arten, nämlich durch Konvektion und Bombardement. Je höher die Frequenz und die Spannung der Ströme ist, um so wichtiger wird das Bombardement. Die Konvektion dagegen sollte um so kleiner sein, je höher die Frequenz ist. Bei konstanten Strömen giebt es in Wirklichkeit kein Bombardement und die Konvektion kann daher bei solchen Strömen den Grad des Glühens beträchtlich modificiren und den eben vorgeführten ähnliche Resultate erzeugen. Wenn z. B. zwei genau gleiche Lampen, von denen die eine evakuirt, die andere nicht evakuirt ist, parallel oder hinter einander an eine Gleichstrommaschine angeschlossen sind, so wird der Faden in der nicht evakuirten Lampe einen erheblich grösseren Strom erfordern, um glühend zu werden. Dies Resultat rührt allein von der Konvektion her und die Wirkung tritt um so schärfer hervor, je dünner der Kohlenfaden ist. Professor Ayrton und Herr Kilgour veröffentlichten vor einiger Zeit auf das thermische Emissionsvermögen durch Strahlung und Leitung bezügliche quantitative Daten, in denen die Wirkung bei dünnen Drähten deutlich zu Tage tritt. Diese Wirkung kann in überraschender Weise illustrirt werden, wenn man sich eine Anzahl enger kurzer Glasröhren herstellt, deren jede in ihrer Achse einen möglichst dünnen Platindraht enthält. Nachdem diese Röhren stark evakuirt worden sind, wird eine

Anzahl derselben parallel mit einer Gleichstrommaschine verbunden; es können dann sämmtliche Drähte mit einem geringeren Strome glühend erhalten werden, als derjenige ist, der erforderlich sein würde, um einen einzigen der Drähte glühend zu machen, wenn die Röhre nicht evakuirt ist. Könnten die Röhren so weit ausgepumpt werden, dass die Konvektion gleich Null wäre, so könnten die durch Leitung und Strahlung abgegebenen relativen Wärmebeträge ohne die mit thermischen quantitativen Messungen verbundenen Schwierigkeiten bestimmt werden. Wird eine Quelle elektrischer Stromimpulse von hoher Frequenz und hoher Spannung angewendet, so kann man eine noch grössere Zahl von Röhren nehmen und die Drähte durch einen Strom glühend machen, der nicht im Stande wäre, einen in Luft unter gewöhnlichem Drucke befindlichen Draht von gleichem Umfange merklich zu erwärmen und allen Drähten Energie zuzuführen.

Ich möchte hier ein Resultat beschreiben, welches noch interessanter ist und zu welchem ich durch die Beobachtung dieser Erscheinungen geführt wurde. Ich bemerkte, dass kleine Unterschiede in der Dichtigkeit der Luft einen erheblichen Unterschied in dem Grade des Glühens der Drähte hervorbrachten, und ich dachte mir, dass, da in einer Röhre, durch welche eine Lichtentladung gesandt wird, das Gas im Allgemeinen nicht von gleichförmiger Dichtigkeit ist, ein sehr dünner in der Röhre enthaltener Draht an bestimmten Stellen, wo das Gas geringere Dichtigkeit besitzt, glühend gemacht werden könnte, während er an den Stellen von grösserer Dichtigkeit, wo die Konvektion grösser und das Bombardement weniger intensiv ist, dunkel bliebe. Demgemäss wurde eine Röhre t, wie in Fig. 187 abgebildet, hergestellt, welche einen durch ihre Mitte hindurchgehenden sehr dünnen Platindraht enthielt. Die Röhre wurde mässig evakuirt, und es fand sich, dass, wenn dieselbe mit den Polen einer Spule von hoher Frequenz verbunden wurde, der Platindraht w in der That stellenweise glühend wurde, wie in Fig. 187 dargestellt. Später wurde eine Anzahl solcher Röhren mit einem oder mehreren Drähten hergestellt und jede zeigte dasselbe Resultat. Die Wirkung war am besten wahrzunehmen, wenn in der Röhre eine schichtenförmige Entladung stattfand, indessen wurde sie auch erzeugt, wenn die Schichten nicht sichtbar waren, woraus erhellt, dass selbst dann das Gas in der Röhre nicht von gleichförmiger Dichtigkeit war. Die Lage der Schichten war im Allgemeinen derart, dass die Verdünnungen den glühenden oder helleren Stellen am Drahte w entsprachen. In einigen Fällen wurde jedoch bemerkt, dass die hellen Flecken am Drahte von den dichten Theilen der schichtenförmigen Entladung, wie durch l

in Fig. 187 angedeutet, bedeckt wurden, obwohl die Wirkung kaum wahrnehmbar war. Dies lässt sich in plausibler Weise durch die Annahme erklären, dass die Konvektion an den dichten und verdünnten Stellen nicht sehr verschieden und dass das Bombardement an den dichten Stellen der schichtenförmigen Entladung grösser war. Es wird in der That oft an Lampenbirnen beobachtet, dass unter gewissen Verhältnissen ein dünner Draht zu hellerem Glühen gebracht wird, wenn die Luft nicht zu stark verdünnt ist. Dies ist der Fall, wenn die Spannung der Spule nicht hoch genug ist für das Vakuum; indessen kann dieses Resultat von sehr vielen verschiedenen Ursachen herrühren. In allen Fällen verschwindet diese seltsame Erscheinung des Glühens, wenn die Röhre oder vielmehr der Draht eine überall gleichmässige Temperatur annimmt.

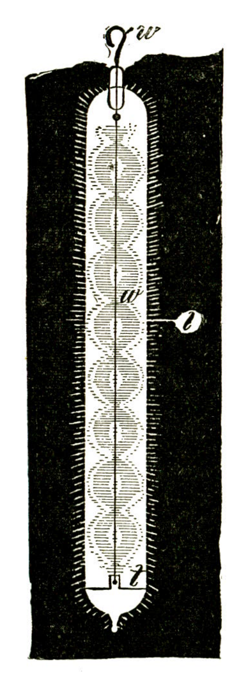


Fig. 187.

Abgesehen nun von der modificirenden Wirkung der Konvektion, giebt es zwei verschiedene Ursachen, welche das Glühen eines Drahtes oder Kohlenfadens bei variirenden Strömen bedingen, nämlich den Leitungsstrom und das Bombardement. Bei konstanten Strömen hat man es nur mit der ersten von diesen beiden Ursachen zu thun und die Wärmewirkung ist am geringsten, da der Widerstand gegen den gleichmässigen Fluss am kleinsten ist. Ist der Strom ein veränderlicher, so ist der Widerstand grösser und demnach wird die Wärmewirkung verstärkt. Wenn daher die Geschwindigkeit der Aenderung des Stromes sehr gross ist, so kann der Widerstand in solchem Maasse wachsen, dass der Kohlenfaden auch bei ganz geringfügigen Strömen zum Glühen kommt; wir können auch einen kurzen, dicken Block aus Kohle oder einem andern Material nehmen und ihn mit einem unvergleichlich viel kleineren Strome zum hellen Glühen bringen, als erforderlich sein würde, um einen gewöhnlichen dünnen Lampenfaden mit einem konstanten Strome oder einem Strome niedriger Frequenz ebenso hell erglühen zu lassen. Dieses Resultat ist wichtig und illustrirt, wie schnell unsere Ansichten über diese Gegenstände wechseln und wie rasch das Gebiet unserer Kenntniss sich erweitert. In der Technik der Glühlichtbeleuchtung, um dies Resultat nur von der einen Seite zu betrachten, wurde es allgemein als ein wesentliches Erforderniss für einen praktischen Erfolg angesehen, dass der Lampenfaden dünn und von hohem Widerstande sein

müsse. Jetzt wissen wir aber, dass der Widerstand des Fadens gegen den konstanten Strom nichts zu bedeuten hat; der Faden könnte ebenso gut kurz und dick sein; denn wenn derselbe in ein verdünntes Gas eintaucht, so wird er durch den Durchgang eines kleinen Stromes glühend werden. Es hängt alles von der Frequenz und Spannung der Ströme ab. Hieraus können wir schliessen, dass es, soweit die Lampe in Betracht kommt, von Vortheil sein würde, hohe Frequenzen für die Beleuchtung anzuwenden, da dieselben den Gebrauch kurzer und dicker Fäden und kleinerer Ströme gestatten.

Wenn ein Draht oder Kohlenfaden in einem homogenen Medium sich befindet, so rührt die ganze Erwärmung von dem eigentlichen Leitungsstrome her; wenn derselbe aber in ein evakuirtes Gefäss eingeschlossen ist, sind die Verhältnisse sehr verschieden. Hier beginnt das Gas zu wirken und die Wärmewirkung des Leitungsstromes kann, wie sich in vielen Versuchen herausgestellt hat, sehr klein sein im Vergleich mit derjenigen des Bombardements. Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Stromkreis nicht geschlossen ist und die Spannungen natürlich sehr hoch sind. Man nehme an, dass ein dünner in ein evakuirtes Gefäss eingeschlossener Kohlenfaden mit dem einen Ende an die Klemme einer Hochspannungsspule und mit seinem andern Ende an eine grosse isolirte Platte angeschlossen sei. Obwohl der Stromkreis nicht geschlossen ist, wird der Faden doch, wie ich früher gezeigt habe, glühend werden. Sind die Frequenz und die Spannung verhältnissmässig niedrig, so wird der Faden durch den durch ihn hindurchgehenden Strom erhitzt. Werden die Frequenz und die Spannung, insbesondere die letztere, erhöht, so braucht die isolirte Platte nur sehr klein zu sein oder kann vollständig wegfallen; trotzdem wird der Faden glühend werden und zwar wird dann praktisch die ganze Erwärmung von dem Bombardement herrühren. Ein praktisches Verfahren, sowohl die Wirkungen der Leitungsströme wie die des Bombardements zu kombiniren, ist in Fig. 188 dargestellt, in welcher eine gewöhnliche Lampe mit einem sehr dünnen Faden abgebildet ist, dessen eines Ende mit einem als isolirte Platte dienenden Lampenschirm und dessen anderes Ende mit dem Pole einer Stromquelle hoher Spannung verbunden ist. Man darf nicht denken, dass nur verdünntes Gas ein wichtiger Faktor bei der Erwärmung eines Leiters durch variirende Ströme ist, sondern es kann auch Gas bei gewöhnlichem Drucke von Wichtigkeit werden, wenn der Spannungsunterschied und die Frequenz der Ströme ausserordentlich hoch sind. Bezüglich dieses Gegenstandes habe ich bereits erwähnt, dass, wenn ein Leiter durch einen Blitzschlag geschmolzen

wird, der ihn durchfliessende Strom ausserordentlich gering sein, ja nicht einmal genügen kann, um den Leiter merklich zu erwärmen, wenn der letztere in einem homogenen Medium sich befände.

Aus dem Vorhergehenden ist klar, dass, wenn ein Leiter von hohem Widerstande mit den Klemmen einer Stromquelle von hoher Frequenz und hoher Spannung verbunden ist, infolge der Wirkung des den Leiter umgebenden Gases eine beträchtliche Zerstreuung der Energie, hauptsächlich an den Enden des Leiters, stattfinden kann. Infolgedessen kann der Strom durch einen Querschnitt des Leiters in einem zwischen den Enden gelegenen mittleren Punkte viel kleiner sein als durch einen Querschnitt in der Nähe der Enden. Ferner geht der Strom hauptsächlich durch die äusseren Theile des Leiters, aber diese Wirkung ist zu unterscheiden von der Oberflächenwirkung in dem gewöhnlichen Sinne, da die letztere auch in einem kontinuirlichen inkompressiblen Medium vorkommen würde oder sollte. Wenn sehr viele Glühlampen in Hintereinanderschaltung mit einer Quelle solcher Ströme verbunden sind, so können die Lampen an den Enden hell brennen, während diejenigen in der Mitte vollständig dunkel bleiben können. Dies rührt hauptsächlich, wie oben bemerkt, von dem Bombardement her. Aber auch wenn die Ströme konstant sind, vorausgesetzt dass die Spannungsdifferenz sehr gross ist, werden die Lampen an dem Ende heller brennen als diejenigen in der Mitte. In solchem Falle findet kein rythmisches Bombardement statt und das Resultat wird ganz und gar von der Streuung hervorgebracht. Diese Leckage oder Zerstreuung in den Raum, wenn die Spannung hoch ist, ist beträchtlich, wenn Glühlampen verwendet werden, und noch beträchtlicher bei Lichtbogen, denn die letzteren wirken wie Flammen. Im Allgemeinen natürlich ist die Zerstreuung bei konstanten Strömen viel geringer als bei veränderlichen.

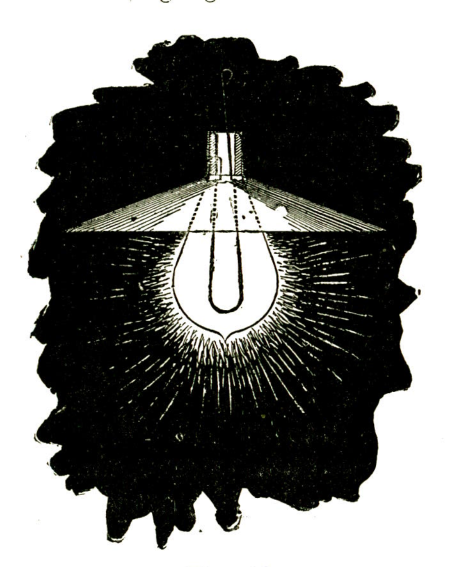


Fig. 188.

Ich habe einen Versuch vorbereitet, welcher in interessanter Weise die Wirkung der seitlichen Ausströmung illustrirt. Wird eine sehr lange Röhre über dem Pole einer Spule hoher Frequenz angebracht,

so ist die Leuchtkraft in der Nähe des Poles am grössten und fällt allmählich gegen das entfernte Ende hin ab. Dies tritt deutlicher hervor, wenn die Röhre eng ist.

Eine enge Röhre von etwa 12 mm Durchmesser und 30 cm Länge (Fig. 189) ist an einem ihrer Enden in einen dünnen Faden f von beinahe einem Meter Länge ausgezogen. Die Röhre ist in eine messingne Fassung T gesteckt, welche auf den Pol T_1 der Induktionsspule aufgeschraubt werden kann. Die die Röhre durchfliessende Entladung beleuchtet zuerst den unteren Theil derselben, der von verhältnissmässig grossem Querschnitt ist; durch den langen Glasfaden kann die Entladung aber nicht gehen. Allmählich jedoch wird das verdünnte Gas im Innern der Röhre erwärmt und mehr leitend und es breitet sich die Entladung auch in den Glasfaden aus. Diese Ausbreitung geht so langsam vor sich, dass es eine halbe Minute oder länger dauern kann, bis die Entladung bis zur Spitze des Glasfadens vorgedrungen ist, der dann das Aussehen eines stark leuchtenden dünnen Fadens besitzt. Durch Regulirung der Spannung an der Klemme kann man bewirken, dass sich das Licht mit jeder beliebigen Geschwindigkeit aufwärts bewegt. Sobald jedoch der Glasfaden einmal erwärmt ist, bricht die Entladung augenblicklich seiner ganzen Länge nach durch. Der hierbei zu bemerkende interessante Punkt ist der, dass, je höher die Frequenz der Ströme, oder mit andern Worten, je grösser relativ die seitliche Zerstreuung ist, man das Licht um so langsamer durch den Faden sich ausbreiten lassen kann. Dieser Versuch wird am besten mit einer bis zu hohem Grade evakuirten und frisch hergestellten Röhre ausgeführt. Ist die Röhre schon eine Zeit lang benutzt worden, so schlägt der Versuch oft fehl. Möglicherweise ist die allmähliche und langsame Verschlechterung des Vakuums die Ursache hiervon. Diese langsame Fortpflanzung der Entladung durch eine sehr enge Glasröhre entspricht genau der Fortpflanzung der Wärme durch einen an dem einen Ende erwärmten Stab. Je schneller die Wärme seitlich abgeführt wird, um so längere Zeit braucht die Wärme, um das entfernte Ende zu erwärmen. Wenn der Strom einer Spule von niedriger Frequenz durch den Faden der Länge nach gesandt wird, so ist die seitliche Zerstreuung gering und die Entladung bricht beinahe ohne Ausnahme augenblicklich durch.

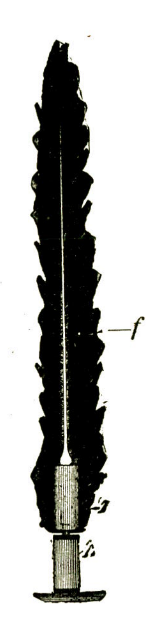


Fig. 189.

Nach diesen Versuchen und Bemerkungen, welche die Wichtigkeit der Diskontinuität oder atomischen Struktur des Mediums dargethan haben und die dazu dienen werden, wenigstens bis zu gewissem Grade das Wesen der vier Arten von Lichtwirkungen, die sich mit solchen Strömen erzeugen lassen, zu erklären, kann ich nun dazu übergehen, Ihnen diese Lichtwirkungen selbst vorzuführen. Des höheren Interesses wegen will ich dies in einer Weise thun, die vielen von Ihnen neu sein dürfte. Sie haben vorher gesehen, dass wir jetzt die elektrische Schwingung einem Körper mittels eines einzigen Drahtes oder Leiters irgend welcher Art zuführen können. Da der menschliche Körper ein Leiter ist, so kann ich die Schwingung durch meinen Körper leiten.



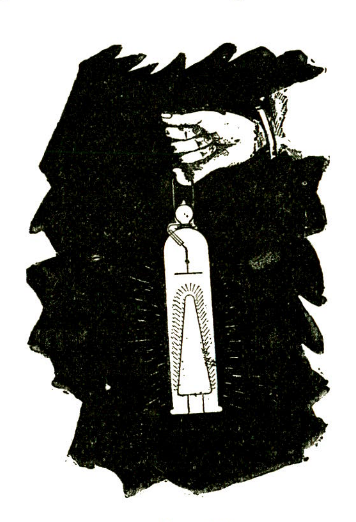
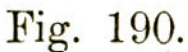
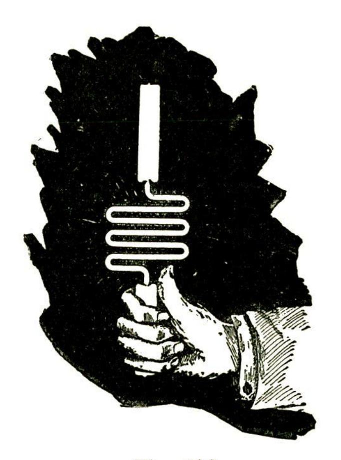


Fig. 190. Fig. 191.



Zunächst verbinde ich, wie bei einigen früheren Versuchen, meinen Körper mit der einen Klemme eines Hochspannungstransformators und nehme in meine Hand eine evakuirte Lampenkugel, die einen kleinen Kohlenknopf enthält, der auf einem nach aussen führenden Platindraht befestigt ist. Der Knopf wird glühend, sobald der Transformator in Thätigkeit gesetzt ist (Fig. 190). Ich kann auch einen leitenden Schirm über die Kugel setzen, der zur Verstärkung der Wirkung dient, aber nicht nothwendig ist. Auch ist es nicht erforderlich, dass sich der Knopf in leitender Verbindung mit der Hand mittels eines durch das Glas hindurchführenden Drahtes befindet, denn es kann durch das Glas selbst hindurch infolge der Induktionswirkung genügend Energie übertragen werden, um den Knopf glühend zu machen.

Sodann nehme ich eine stark evakuirte Glasröhre mit einem kräftig phosphorescirenden Körper im Innern, über welchem eine kleine Aluminiumplatte an einem nach aussen führenden Platindraht angebracht ist. Alsdann erregen die durch meinen Körper fliessenden Ströme ein intensives Phosphoresciren in der Röhre (Fig. 191). Nun nehme ich in meine Hand eine einfache evakuirte Röhre; das Gas im Innern der Röhre wird in gleicher Weise glühend oder phosphorescirend (Fig. 192). Schliesslich nehme ich in meine Hand einen Draht, ob derselbe blank ist oder mit einer dicken Isolation bedeckt, thut nichts zur Sache; die elektrische Schwingung ist so intensiv, dass der Draht mit einer leuchtenden Schicht bedeckt ist (Fig. 193).



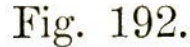


Fig. 192.

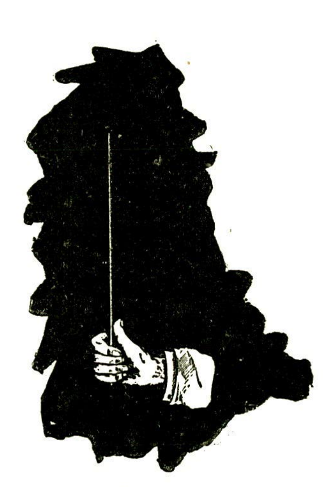
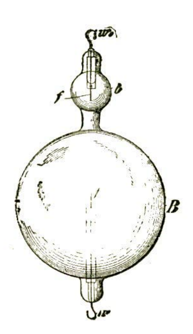


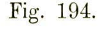
Fig. 193.

Ich muss nun jeder dieser Erscheinungen einige wenige Worte widmen. An erster Stelle will ich das Glühen eines Knopfes oder überhaupt eines festen Körpers betrachten und einige Umstände erwähnen, die auf alle diese Erscheinungen in gleicher Weise anwendbar sind. Es wurde vorher darauf hingewiesen, dass, wenn ein dünner Leiter, wie z. B. ein Glühlampenfaden, mit dem einen Ende an die Klemme eines Transformators von hoher Spannung angeschlossen wird, der Faden theilweise durch Leitungsstrom und theilweise durch Bombardement der Gasmoleküle ins Glühen kommt. Je kürzer und dicker der Faden ist, um so wichtiger wird das letztere, und schliesslich muss, wenn man den Faden auf einen blossen Knopf reducirt, die gesammte Wärmewirkung praktisch dem Bombardement zugeschrieben werden. Daher wird in dem vorher gezeigten Versuch der Knopf durch das rythmische Anprallen frei

beweglicher kleiner Körper in der Lampenbirne glühend. Diese Körper können die Moleküle des rückständigen Gases, Staubtheilchen oder abgetrennte Stückchen der Elektrode sein; mögen sie sein, was sie wollen, sicher ist, dass die Erwärmung des Knopfes wesentlich bedingt ist durch den Druck solcher frei beweglichen Theilchen oder überhaupt aus Atomen bestehender Materie in der Lampenbirne. Die Erwärmung ist um so intensiver, je grösser die Anzahl der Stösse per Sekunde und je grösser die Energie jedes Stosses ist. Der Knopf würde allerdings auch erwärmt werden, wenn er mit einer Quelle konstanter Spannung verbunden wäre. In solchem Falle würde durch die frei beweglichen, herumfliegenden Theilchen die Elektricität von dem Knopfe fortgeführt werden und die auf diese Weise fortgeführte Elektricitätsmenge könnte genügend sein, um durch ihren Durchgang durch den Knopf letzteren zum Glühen zu bringen. Das Bombardement aber könnte in solchem Falle nicht von grosser Bedeutung sein. Aus diesem Grunde würde ein verhältnissmässig sehr grosser Energiezufluss zum Knopfe erforderlich sein, um diesen bei konstanter Spannung im Glühen zu erhalten. Je höher die Frequenz der elektrischen Impulse, mit um so grösserer Oekonomie kann der Knopf glühend erhalten werden. Einer der Hauptgründe hierfür ist meines Erachtens der, dass bei Stromstössen von sehr hoher Frequenz ein geringerer Austausch der frei beweglichen Theilchen um die Elektrode herum stattfindet, und dies bedeutet, dass in der Glasbirne die erwärmte Luft mehr in der unmittelbaren Umgebung des Knopfes festgehalten wird. Wird eine doppelte Lampenkugel, wie in Fig. 194 ersichtlich ist, hergestellt, die aus einer grossen Kugel B und einer kleinen b besteht, deren jede wie üblich einen an einem Platindraht w bezw. w_1 befestigten Kohlenfaden f enthält, so findet man, dass, wenn beide Kohlenfäden ff genau gleich sind, weniger Energie erforderlich ist, um den Faden in der Kugel b auf einem gewissen Grade des Glühens zu erhalten, als den in der Kugel B. Dies hat seinen Grund in dem Festhalten der beweglichen Theilchen um den Knopf herum. Ferner ist in diesem Falle als festgestellt zu betrachten, dass der Faden in der kleinen Kugel b, nachdem er eine gewisse Zeit hindurch glühend erhalten worden ist, weniger abgenutzt ist. Dies ist eine nothwendige Folge des Umstandes, dass das Gas in der kleinen Kugel stark erwärmt und daher ein sehr guter Leiter wird, und an dem Knopf weniger Arbeit geleistet wird, weil das Bombardement weniger intensiv wird, sobald die Leitungsfähigkeit des Gases zunimmt. Bei dieser Konstruktion wird natürlich die kleine Kugel sehr heiss, und wenn dieselbe eine hohe Temperatur erreicht hat, so wächst die Leitung und Strahlung nach aussen. Bei einer andern Gelegen-

heit habe ich Lampenbirnen vorgezeigt, bei denen dieser Uebelstand zum grössten Theil vermieden war. Bei diesen war eine sehr kleine einen feuerbeständigen Knopf enthaltende Kugel in einer grossen Kugel angebracht und der Raum zwischen den Wänden beider stark evakuirt. Die äussere grosse Kugel blieb bei diesen Konstruktionen verhältnissmässig kalt. Wurde die grosse Kugel auf die Luftpumpe gesetzt und das Vakuum zwischen den Wänden beider Kugeln durch das anhaltende Wirken der Pumpe permanent erhalten, so blieb die äussere Kugel ganz kalt, während der Knopf in der kleinen Kugel im Glühen blieb. Wurde aber die grosse Kugel zugeschmolzen und der Knopf in der kleinen Kugel eine Zeit lang glühend erhalten, so wurde auch die grosse Kugel warm. Hieraus schliesse ich, dass, wenn der luftleere Weltenraum (wie Pro-




Fig. 194.

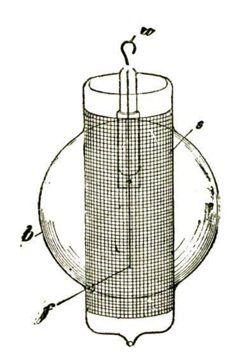


Fig. 195.

fessor Dewar findet) die Wärme nicht leiten kann, dies nur infolge unserer rapiden Bewegung durch den Raum oder, allgemein gesprochen, infolge der Bewegung des Mediums relativ zu uns der Fall ist, denn ein permanenter Zustand würde ohne beständige Erneuerung des Mediums nicht unterhalten werden können. Ein Vakuum kann, darauf weisen alle Erfahrungen hin, um einen heissen Körper herum auf die Dauer nicht aufrecht erhalten werden.

Bei den eben erwähnten Konstruktionen würde die kleine Kugel innerhalb, wenigstens in der ersten Zeit, das ganze Bombardement gegen die äussere grosse Kugel verhindern. Es kam mir dann der Gedanke festzustellen, wie sich ein Metallsieb in dieser Beziehung verhalten würde, und es wurden verschiedene Kugeln wie die in Fig. 195 abgebildete zu diesem Zwecke hergestellt. In einer Kugel *b* war ein dünner Faden *f* (oder Knopf) an einem Platindraht *w* befestigt, der durch einen Glasstiel hindurch nach aussen führte. Der Faden *f* war von einem

Drahtgeflecht *s* umgeben. Bei Versuchen mit solchen Kugeln ergab sich, dass ein Geflecht mit weiten Maschen dem Anschein nach das Bombardement gegen die Kugel *b* nicht im Geringsten beeinflusste. War das Vakuum hoch, so wurde der Schatten des Drahtgeflechtes deutlich auf die Kugel projicirt, und die letztere wurde in kurzer Zeit heiss. Bei einigen Kugeln war das Drahtgeflecht *s* mit einem in dem Glase eingeschmolzenen Platindraht verbunden. Wurde dieser Draht mit der andern Klemme der Induktionsspule (wobei die elektromotorische Kraft in diesem Falle niedrig gehalten wurde) oder mit einer isolirten Platte verbunden, so nahm das Bombardement gegen die äussere Kugel *b* ab. Nimmt man ein feinmaschiges Drahtgeflecht, so wird das Bombardement gegen die Kugel *b* stets vermindert, aber selbst dann, wenn die Evakuirung sehr weit getrieben wurde und die Spannung des Transformators sehr hoch war, wurde die Kugel *b* bombardirt und rasch erhitzt, obwohl wegen der Kleinheit der Maschen kein Schatten des Drahtgeflechtes sichtbar war. Eine Glasröhre jedoch oder ein anderer kontinuirlicher Körper, der so angebracht wurde, dass er den Kohlenfaden umgab, schnitt das Bombardement vollständig ab und eine Zeit lang blieb die äussere Kugel *b* vollkommen kalt. Wenn natürlich die Glasröhre genügend erwärmt war, so konnte das Bombardement gegen die äussere Kugel sofort bemerkt werden. Die Versuche mit diesen Glasbirnen scheinen darzuthun, dass die Geschwindigkeiten der fortgeschleuderten Moleküle oder Theilchen beträchtlich sein müssen (wenn auch ganz unbedeutend im Vergleich zur Geschwindigkeit des Lichts), sonst würde es schwer zu verstehen sein, wie dieselben ein feines Drahtgeflecht unbeeinträchtigt durchdringen können, wofern man nicht etwa fände, dass solche kleinen Theilchen oder Atome nicht direkt auf messbare Entfernungen beeinflusst werden können. Was die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Atome anlangt, so hat sie Lord Kelvin jüngst in einer gewöhnlichen Crookes'schen Röhre auf ca. einen Kilometer in der Sekunde oder so herum geschätzt. Da die mit einer Spule für disruptive Entladung erhältlichen Spannungen viel höher sind als bei gewöhnlichen Spulen, so müssen die Geschwindigkeiten natürlich viel grösser sein, wenn eine Lampenbirne mittels einer solchen Spule erleuchtet wird. Nimmt man an, dass die Geschwindigkeit fünf Kilometer betrage und durch die ganze Bahn gleichförmig sei, wie es in einem stark evakuirten Gefäss der Fall sein sollte, so würde, falls die alternirenden Elektrisirungen der Elektrode eine Frequenz von fünf Millionen hätten, die grösste Entfernung, bis zu welcher ein Theilchen von der Elektrode sich entfernen könnte, ein Millimeter sein, und wenn eine direkte Wirkung auf dasselbe bei dieser Entfernung möglich wäre,

so würde der Wechsel der Elektrodenmaterie oder der Atome sehr langsam vor sich gehen und es würde praktisch kein Bombardement gegen die Birne stattfinden. Dies sollte wenigstens der Fall sein, wenn die Wirkung einer Elektrode auf die Atome des rückständigen Gases von derselben Beschaffenheit wäre wie die Wirkung auf elektrisirte Körper, die wir wahrnehmen können. Ein heisser in einer evakuirten Glasbirne eingeschlossener Körper erzeugt stets ein Bombardement der Atome, aber ein heisser Körper hat keinen bestimmten Rhythmus, denn seine Moleküle machen Schwingungen aller Art.

Wird eine einen Knopf oder einen Kohlenfaden enthaltende Glasbirne so stark evakuirt, als es mit der grössten Sorgfalt und bei Verwendung der besten Hülfsmittel möglich ist, so beobachtet man oft, dass die Entladung zunächst nicht hindurchzugehen vermag, dass jedoch nach einiger Zeit, wahrscheinlich infolge gewisser Aenderungen innerhalb der Birne, die Entladung schliesslich durchschlägt und der Knopf glühend wird. In der That scheint es, dass, je höher der Grad der Evakuirung ist, um so leichter das Glühen hervorgebracht wird. Es dürften keine anderen Ursachen bestehen, denen in solchem Falle das Glühen zugeschrieben werden könnte, als das Bombardement oder eine ähnliche Wirkung des rückständigen Gases oder überhaupt materieller Theilchen. Wenn aber die Birne mit der grössten Sorgfalt ausgepumpt ist, können dann diese eine wichtige Rolle spielen? Angenommen das Vakuum in der Birne sei ziemlich vollkommen, dann gipfelt das grösste Interesse in der Frage: Ist das den ganzen Weltenraum durchdringende Medium kontinuirlich oder besteht es aus Atomen? Bestände es aus Atomen, so könnte die Erwärmung eines leitenden Knopfes oder Fadens in einem evakuirten Gefäss zum grössten Theile von dem Bombardement des Aethers herrühren und dann müsste die Erwärmung eines von Strömen hoher Frequenz oder hoher Spannung durchflossenen Leiters überhaupt durch das Verhalten eines derartigen Mediums modificirt werden; dann lässt auch die Oberflächenwirkung, die scheinbare Vermehrung des Ohm'schen Widerstandes u. s. w. wenigstens zum Theil eine verschiedene Erklärung zu.

Es stimmt jedenfalls besser mit vielen bei Strömen hoher Frequenz beobachteten Erscheinungen überein, daran festzuhalten, dass der ganze Raum von freien Atomen durchdrungen ist, als denselben frei von diesen und dunkel und kalt anzunehmen, wie er doch sein müsste, wenn er mit einem kontinuirlichen Medium erfüllt wäre, da es in einem solchen weder Wärme noch Licht geben kann. Wird also durch unabhängige Theilchen oder durch die Vibration eines kontinuirlichen Mediums Energie übertragen? Diese wichtige Frage ist bis jetzt durchaus noch nicht

positiv beantwortet worden. Indessen haben die meisten der hier betrachteten Wirkungen, insbesondere die Lichtwirkungen, das Glühen oder die Phosphorescenz, die Existenz freier Atome zur Voraussetzung und würden ohne diese unmöglich sein.

Bezüglich des Glühens eines feuerbeständigen Knopfes (oder Fadens) in einem evakuirten Gefässe, welches einen der Gegenstände dieser Untersuchung bildete, können die Haupterfahrungen, die bei der Herstellung solcher Birnen als Anhaltepunkte dienen können, folgendermassen zusammengefasst werden: 1) Der Knopf sollte so klein als möglich, von kugelförmiger Gestalt mit glatter oder polirter Oberfläche und von feuerbeständigem Material sein, welches einer Verdampfung möglichst gut widersteht. 2) Der Träger des Knopfes sollte sehr dünn und durch ein Aluminium- oder Glimmerblättchen geschützt sein, wie ich bei anderer Gelegenheit beschrieben habe. 3) Die Evakuirung der Birne sollte so hoch wie möglich sein. 4) Die Frequenz der Ströme sollte so hoch sein, als sich praktisch erreichen lässt. 5) Die Ströme sollten harmonisch ansteigen und fallen, ohne plötzliche Unterbrechungen. 6) Die Wärme sollte auf den Knopf koncentrirt werden durch Einschliessung desselben in eine kleine Kugel oder in anderer Weise. 7) Der Raum zwischen den Wänden der kleinen Kugel und der äusseren Kugel sollte stark evakuirt sein.

Die meisten der soeben bezüglich des Glühens eines festen Körpers angestellten Betrachtungen können in gleicher Weise auf die Phosphorescenz angewendet werden. In der That wird in einem ausgepumpten Gefässe die Phosphorescenz in der Regel primär durch das kräftige Anschlagen des Stromes der von der Elektrode losgetrennten Atome gegen den phosphorescirenden Körper erregt. Selbst in Fällen, wo kein sichtbares Zeichen eines solchen Bombardements vorhanden ist, wird meines Erachtens die Phosphorescenz durch heftige Stösse der Atome erregt, welche nicht nothwendig von der Elektrode losgerissen sein müssen, sondern von derselben durch Induktion unter Vermittelung des Mediums oder von Ketten anderer Atome beeinflusst werden. Dass mechanische Stösse bei der Erregung der Phosphorescenz in einer Lampenbirne eine wichtige Rolle spielen, ist aus dem folgenden Versuche ersichtlich. Nimmt man eine Birne von der Einrichtung, wie sie Fig. 174 zeigt, und evakuirt sie mit der grössten Sorgfalt, so dass die Entladung nicht übergehen kann, so wirkt der Faden f durch elektrostatische Induktion auf die Röhre t und die letztere wird in Schwingung versetzt. Ist die Röhre o etwas weit, etwa 25 mm, so kann der Faden in so heftige Schwingungen versetzt werden, dass er jedesmal, wenn er an die Glasröhre anschlägt,

Phosphorescenz erregt. Aber die Phosphorescenz hört auf, wenn der Faden zur Ruhe kommt. Durch Variation der Frequenz der Ströme kann die Schwingung angehalten und wiederum in Gang gesetzt werden. Nun hat der Faden seine eigene Schwingungsperiode und geräth, wenn die Frequenz der Ströme derart ist, dass Resonanz stattfindet, leicht in Schwingungen, wenn auch die Spannung der Ströme gering ist. Ich habe oft beobachtet, dass der Faden in der Birne durch solche mechanische Resonanz zerstört wurde. Der Faden schwingt in der Regel so schnell, dass man es nicht sehen und der Experimentator zunächst getäuscht werden kann. Wenn ein solcher Versuch wie der beschriebene sorgfältig ausgeführt wird, braucht die Spannung der Ströme nur gering zu sein, und aus diesem Grunde schliesse ich, dass die Phosphorescenz dann von dem mechanischen Stosse des Fadens gegen das Glas herrührt, gerade so wie dieselbe erzeugt wird, wenn man einen Hut Zucker mit einem Messer streicht. Der durch die fortgeschleuderten Atome erzeugte mechanische Stoss wird leicht wahrgenommen, wenn man eine einen Knopf enthaltende Lampenbirne in die Hand nimmt und den Strom plötzlich einschaltet. Ich glaube, dass eine solche Birne durch Einhalten der Resonanzbedingungen zerbrochen werden könnte.

Bei dem vorher erwähnten Versuch könnte man natürlich auch sagen, dass die Glasröhre, nachdem sie mit dem Faden in Berührung gekommen ist, an dem Berührungspunkte eine Ladung von gewissem Vorzeichen behält. Wenn nun der Faden das Glas wiederum an demselben Punkte berührt, während derselbe entgegengesetzt geladen ist, so gleichen sich die Ladungen unter Lichtentwicklung aus. Aber durch eine solche Erklärung würde nichts Wesentliches gewonnen werden. Es unterliegt keiner Frage, dass die den Atomen oder dem Glase mitgetheilten anfänglichen Ladungen bei der Erregung der Frequenz eine gewisse Rolle spielen. Wird z. B. eine phosphorescirende Birne zuerst durch eine Spule hoher Frequenz erregt, indem man sie mit der einen Klemme der letzteren verbindet und merkt man sich den Grad der Lichtstärke, und wird sodann die Birne von einer Holtz'schen Maschine stark geladen, indem man sie am besten mit dem positiven Pole der Maschine verbindet, so findet man, wenn die Birne dann wieder mit der Klemme der Spule hoher Frequenz verbunden wird, dass die Phosphorescenz weit intensiver ist.

Bei anderer Gelegenheit habe ich die Möglichkeit gewisser Phosphorescenzerscheinungen in Glasbirnen betrachtet, welche durch das Glühen einer unendlich dünnen Schicht an der Oberfläche des phosphorescirenden Körpers erzeugt werden. Sicher ist der Anprall der

Atome kräftig genug, um intensives Glühen durch die Kollisionen zu erzeugen, da sie einen Körper von beträchtlicher Grösse rasch zu einer hohen Temperatur bringen. Wenn überhaupt solche Wirkungen existiren, so ist der beste Apparat zur Erzeugung der Phosphorescenz in einer Glasbirne, den wir bis jetzt kennen, eine disruptive Entladungsspule, welche eine enorme Spannung bei nur wenigen Fundamentalentladungen, etwa 25—30 per Sekunde, also gerade genug giebt, um auf das Auge einen kontinuirlichen Eindruck hervorzubringen. Es ist eine Thatsache, dass eine solche Spule Phosphorescenz unter fast allen Verhältnissen und bei jedem Grade der Evakuirung erzeugt, und ich habe Wirkungen, die offenbar von Phosphorescenz herrühren, auch bei gewöhnlichem Atmosphärendrucke beobachtet, falls die Spannungen ausserordentlich hoch waren. Wenn jedoch phosphorescirendes Licht durch die Ausgleichung der Ladungen elektrisirter Atome (was man darunter schliesslich auch verstehen möge) erzeugt wird, so wird die Lichterzeugung um so ökonomischer sein, je höher die Frequenz der Stromimpulse oder alternirenden Elektrisirungen ist. Es ist eine lange bekannte und bemerkenswerthe Thatsache, dass sämmtliche phosphorescirenden Körper schlechte Elektricitäts- und Wärmeleiter sind, und dass alle Körper aufhören, phosphorescirendes Licht auszusenden, wenn sie auf eine gewisse Temperatur gebracht sind. Leiter dagegen besitzen diese Eigenschaft nicht. Es giebt nur wenige Ausnahmen von der Regel. Eine derselben bildet die Kohle. Becquerel beobachtete, dass Kohle bei einer bestimmten hohen Temperatur, welche der dunklen Rothgluthhitze vorhergeht, phosphorescirt. Diese Erscheinung kann man leicht an Glasbirnen beobachten, welche mit einer etwas grossen Kohlenelektrode (z. B. einer Kugel von 6 mm Durchmesser) versehen sind. Wird der Strom eingeschaltet, so bedeckt nach einigen Sekunden eine schneeweisse Haut die Elektrode, kurz bevor sie dunkelroth wird. Aehnliche Wirkungen sind bei anderen leitenden Körpern beobachtet worden, doch dürften wahrscheinlich nicht viele Gelehrte dieselben eigentlicher Phosphorescenz zuschreiben. Ob wirkliches Glühen mit der durch den Anprall der Atome oder durch mechanische Stösse erregten Phosphorescenz etwas zu thun hat, bleibt noch zu entscheiden, aber es ist eine Thatsache, dass alle Bedingungen, welche darauf hinzielen, die Wärmewirkung an dem Punkte des Anpralles zu lokalisiren und zu verstärken, beinahe ausnahmslos die günstigsten für die Erzeugung der Phosphorescenz sind. So ist z. B., wenn die Elektrode sehr klein, oder, was im Allgemeinen dasselbe sagen will, die elektrische Dichtigkeit gross ist, wenn die Spannung hoch und das Gas stark verdünnt ist, Umstände, die sämmtlich hohe Geschwindigkeit

der fortgeschleuderten Atome oder materiellen Theilchen und demgemäss heftige Stösse zur Voraussetzung haben, die Phosphorescenz sehr intensiv. Wenn eine mit einer grossen und einer kleinen Elektrode versehene Birne an dem Pole einer Induktionsspule angebracht wird, so erregt die kleine Elektrode Phosphorescenz, während die grössere dies nicht thun kann wegen der geringeren elektrischen Dichtigkeit und somit kleineren Geschwindigkeit der Atome. Eine mit einer grossen Elektrode versehene Birne kann mit der Hand angefasst werden, während die Elektrode mit der Klemme der Spule verbunden ist, und eine Phosphorescenz kann nicht stattfinden. Wird aber die Birne, anstatt mit der Hand angefasst zu werden, mit einem zugespitzten Drahte berührt, so breitet sich die Phosphorescenz sofort durch die ganze Birne aus, wegen der grossen Dichtigkeit an dem Berührungspunkte. Bei niedrigen Frequenzen scheint es, als ob Gase von grossem Atomgewicht intensivere Phosphorescenz erregen als diejenigen von geringerem Atomgewicht, z. B. Wasserstoff. Bei hohen Frequenzen sind die Beobachtungen nicht zuverlässig genug, um Schlüsse daraus zu ziehen. Sauerstoff bringt bekanntlich ausnahmsweise starke Wirkungen hervor, die zum Theil von chemischer Wirkung herrühren können. Eine Birne mit Wasserstoffrückstand scheint am leichtesten erregt zu werden. Elektroden, welche am leichtesten abgenutzt werden, erzeugen in Birnen intensivere Phosphorescenz, indessen dauert dieses Verhältniss wegen der Schwächung des Vakuums und der Ablagerung von Elektrodenmaterie auf den phosphorescirenden Flächen nicht an. Einige Flüssigkeiten, wie z. B. Oele, erzeugen prächtige Phosphorescenz (oder Fluorescenz?) -Wirkungen, doch dauern letztere nur wenige Sekunden. Wenn daher eine Birne eine Spur von Oel an den Wänden zeigt, und der Strom eingeschaltet wird, so dauert die Phosphorescenz nur wenige Augenblicke, bis das Oel beseitigt ist. Von allen bis jetzt probirten Körpern scheint Schwefelzink für Phosphorescenz am empfänglichsten zu sein. Einige durch die Güte des Herrn Prof. Henry in Paris erhaltene Proben wurden in vielen der Birnen verwendet. Einer der Mängel dieses Sulphids besteht darin, dass es sein Lichtemissionsvermögen schon bei einer keineswegs hohen Temperatur verliert. Es kann daher nur bei schwachen Intensitäten benutzt werden. Eine Beobachtung, die der Erwähnung werth sein dürfte, ist die, dass es unter dem heftigen Bombardement von einer Aluminiumelektrode aus eine schwarze Farbe annimmt, aber, seltsam genug, wieder zum ursprünglichen Zustande zurückkehrt, sobald es sich abkühlt.

Die wichtigste Thatsache, die sich beim Verfolg der Untersuchungen nach dieser Richtung ergeben hat, ist die, dass in allen Fällen zur

Erregung von Phosphorescenz mit möglichst geringem Energieaufwande die Einhaltung gewisser Bedingungen nothwendig ist. Es giebt nämlich, gleichgültig, welches die Frequenz der Ströme, der Grad der Evakuirung und die Beschaffenheit der in der Birne enthaltenen Körper ist, eine bestimmte Spannung (falls man annimmt, dass die Birne nur von einem Pole aus erregt werde) oder eine bestimmte Spannungsdifferenz (wenn man annimmt, dass die Birne mit beiden Polen erregt werde), welche das ökonomischste Resultat hervorbringt. Wird die Spannung erhöht, so kann beträchtliche Energie verschwendet werden, ohne dass irgendwie mehr Licht erzeugt würde, und wird dieselbe erniedrigt, so ist andererseits die Lichtproduktion nicht so ökonomisch. Die genauen Bedingungen, unter denen die besten Resultate erhalten werden, scheinen von vielen Dingen verschiedener Art abzuhängen und bleiben von anderen Experimentatoren noch zu erforschen; es wird aber bei Benutzung solcher phosphorescirender Birnen mit Sicherheit zu beobachten sein, ob man die besten Resultate erhält.

Gehen wir nun zu den interessantesten unter diesen Erscheinungen, nämlich dem Glühen oder Phosphoresciren von Gasen bei niedrigem Drucke oder bei dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre über, so müssen wir die Erklärung dieser Erscheinungen in denselben primären Ursachen, d. h. in Stössen oder dem Anprallen der Atome, suchen. Gerade so wie die Moleküle oder Atome, welche auf einen festen Körper aufschlagen, Phosphorescenz in demselben erregen oder ihn glühend machen, so werden sie durch gegenseitige Zusammenstösse ähnliche Erscheinungen hervorbringen. Dies ist jedoch eine sehr ungenügende Erklärung und betrifft nur den rohen Mechanismus. Licht wird durch Schwingungen hervorgebracht, die mit fast unbegreiflicher Geschwindigkeit vor sich gehen. Wenn wir aus der Energie, welche in der Form bekannter Ausstrahlungen in einem bestimmten Raume enthalten ist, die Kraft berechnen, welche zur Erzeugung solcher rapiden Schwingungen erforderlich ist, so finden wir, dass, obwohl die Dichtigkeit des Aethers unvergleichlich geringer als die jedes bekannten Körpers, selbst des Wasserstoffes ist, die Kraft ganz und gar unsere Begriffe übersteigt. Was ist diese Kraft, welche in mechanischem Maasse Millionen von Kilogramm pro Quadratcentimeter betragen kann? Es ist im Lichte moderner Anschauungen elektrostatische Kraft. Es ist unmöglich, sich vorzustellen, wie ein Körper von messbaren Dimensionen zu einem so hohen Potential geladen werden könnte, dass die Kraft zur Erzeugung dieser Schwingungen ausreichte. Lange bevor eine solche Ladung dem Körper mitgetheilt werden könnte, würde er in Atome zerstäuben! Die Sonne

sendet Licht und Wärme aus, und dasselbe thut eine gewöhnliche Flamme oder ein glühender Kohlenfaden, aber bei keinem von ihnen kann die Kraft erklärt werden, falls man annimmt, dass sie mit dem Körper als einem Ganzen verbunden sei. Nur in einem Falle können wir dieselbe erklären, nämlich wenn wir sie mit dem Atom identificiren. Ein Atom ist so klein, dass, wenn dasselbe durch Berührung mit einem elektrisirten Körper geladen und angenommen wird, dass die Ladung den nämlichen Gesetzen folgt, welche bei Körpern von messbaren Dimensionen gelten, es eine Elektricitätsmenge zurückbehalten muss, welche diese Kräfte und ungeheuren Schwingungsgeschwindigkeiten vollständig zu erklären vermag. Aber das Atom verhält sich in dieser Beziehung höchst eigenartig: es nimmt stets dieselbe „Ladung“ an.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass Resonanzschwingungen bei allen Energieäusserungen in der Natur eine sehr wichtige Rolle spielen. Die gesammte durch den ganzen Raum vertheilte Materie befindet sich in Schwingungen und es sind alle möglichen Schwingungsgeschwindigkeiten von dem niedrigsten musikalischen Tone bis zur höchsten Stufe der chemischen Strahlen vertreten; daher findet ein Atom oder ein Komplex von Atomen, mag seine Schwingungsperiode sein, welche sie wolle, stets eine Schwingung, mit welcher er in Resonanz ist. Wenn wir die enorme Geschwindigkeit der Lichtschwingungen betrachten, so erkennen wir die Unmöglichkeit, solche Schwingungen direkt mit irgend einem Apparate von messbaren Dimensionen hervorzubringen, und wir werden zu dem einzig möglichen Verfahren zur Erreichung des Zieles, Lichtwellen auf elektrischem Wege und ökonomisch zu erzeugen, hingetrieben, nämlich auf die Moleküle oder Atome eines Gases einzuwirken und sie zum Zusammenstoss und zur Vibration zu bringen. Wir müssen daher fragen: Wie kann man auf freie Moleküle oder Atome einwirken?

Thatsache ist, dass man auf sie durch elektrostatische Kraft einwirken kann, wie aus vielen dieser Versuche hervorgeht. Durch Veränderung der elektromotorischen Kraft können wir die Atome in heftige Bewegung und zur Kollision bringen, was mit Wärme- und Lichtentwickelung verbunden ist. Ob wir dieselben auch auf andere Weise beeinflussen können, ist nicht unzweifelhaft bewiesen. Wenn eine Lichtentladung in einer geschlossenen evakuirten Röhre erzeugt wird, ordnen sich dann die Atome noch unter irgend einem andern Einfluss als der in geraden Linien von Atom zu Atom wirkenden Kraft an? Erst kürzlich habe ich die gegenseitige Wirkung zwischen zwei Stromkreisen bei ausserordentlich grossen Schwingungsgeschwindigkeiten untersucht. Wird eine Batterie von wenigen Flaschen (*c*, *c*, *c*, *c* Fig. 196) durch einen

Primärkreis P von geringem Widerstande entladen (wobei die Schaltungen derart sind wie in Fig. 183a, 183b und 183c dargestellt) und beträgt die Frequenz der Schwingung viele Millionen, so bestehen zwischen nicht mehr als einige Centimeter von einander entfernten Punkten des Primärkreises grosse Spannungsunterschiede. Diese Unterschiede können 4000 Volt per Centimeter, wenn nicht mehr, betragen, wenn man den Maximalwerth der elektromotorischen Kraft nimmt. Der Sekundärkreis s wird daher durch elektrostatische Induktion beeinflusst, die in solchen extremen Fällen von viel grösserer Bedeutung ist wie die elektrodynamische. Solchen plötzlichen Stromstössen gegenüber sind sowohl der primäre wie der sekundäre Stromkreis schlechte Leiter und daher können zwischen benachbarten Punkten des sekundären Kreises grosse Spannungsdifferenzen erzeugt werden. Es können alsdann Funken zwischen den Drähten überspringen und Lichtströmungen im Dunkeln sichtbar werden, wenn das von der Entladung durch die Funkenstrecke dd erzeugte Licht sorgfältig ausgeschlossen wird. Wenn man nun an Stelle des metallischen Sekundärkreises s eine geschlossene Vakuumröhre nimmt, so sind die Spannungsdifferenzen, welche in der Röhre durch elektrostatische Induktion von dem Primärkreise aus erzeugt werden, vollkommen ausreichend, um Theile derselben zu erregen; da aber die Punkte bestimmter Spannungsdifferenzen auf dem Primärkreise nicht fest bleiben, sondern im Allgemeinen beständig ihre Lage ändern, so wird ein Lichtstreifen in der Röhre hervorgebracht, der augenscheinlich das Glas nicht berührt, wie es der Fall sein würde, wenn die Punkte der grössten und kleinsten Spannungsdifferenz auf dem Primärkreise fest wären. Ich will die Möglichkeit, dass eine solche Röhre allein durch elektrodynamische Induktion erregt werde, nicht ausschliessen, da sehr tüchtige Physiker dieser Ansicht sind; allein meines Erachtens ist bis jetzt kein positiver Beweis dafür gegeben worden, dass sich Atome eines Gases in einer geschlossenen Röhre unter der Wirkung eines durch elektrodynamische Induktion in der Röhre erzeugten elektromotorischen Impulses zu Ketten anordnen. Ich habe bisher nicht vermocht, in einer noch so langen und noch so sehr evakuirten Röhre Schichten hervorzubringen, d. h. Schichten rechtwinklig zu der angenommenen Richtung der Entladung oder der Achse der Röhre, aber ich habe in einer weiten Lampenbirne, in welcher dadurch, dass eine Entladung einer Batterie durch einen die Birne umgebenden Draht hindurchgesandt wurde, ein breiter Lichtstreifen ent-

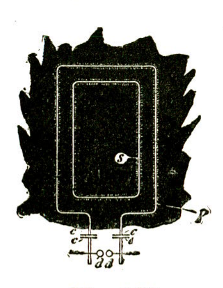


Fig. 196.

stand, deutlich einen schwach leuchtenden Kreis zwischen zwei Lichtstreifen, von denen der eine intensiver war, als der andere, wahrgenommen. Ferner glaube ich bei meiner gegenwärtigen Erfahrung nicht, dass eine solche Gasentladung in einer geschlossenen Röhre vibriren, d. h. als Ganzes vibriren kann. Ich bin überzeugt, dass keine Entladung durch ein Gas hindurch vibriren kann. Die Atome eines Gases verhalten sich in Bezug auf plötzliche elektrische Impulse sehr merkwürdig. Die Gase scheinen solchen Impulsen gegenüber keine merkliche Trägheit zu besitzen, denn es ist eine Thatsache, dass, je höher die Frequenz der Stromimpulse ist, die Entladung um so freier durch das Gas hindurchgeht. Besitzt das Gas aber keine Trägheit, so kann es nicht vibriren, denn für die freie Vibration ist eine gewisse Trägheit nothwendig. Ich schliesse hieraus, dass, wenn eine Blitzentladung zwischen zwei Wolken eintritt, keine Oscillation stattfinden kann, wie man erwarten sollte, wenn man die Kapacität der Wolken in Betracht zieht. Sobald aber die Blitzentladung die Erde trifft, findet stets eine Vibration — in der Erde, aber nicht in den Wolken — statt. Bei einer Gasentladung schwingt jedes Atom mit seiner eigenen Geschwindigkeit, aber es findet keine Vibration der leitenden gasförmigen Masse als eines Ganzen statt. Es ist dies eine wichtige Betrachtung für das grosse Problem der ökonomischen Lichterzeugung, da sie uns lehrt, dass wir, um dieses Resultat zu erreichen, Stromimpulse von sehr hoher Frequenz und nothwendig auch von hoher Spannung verwenden müssen. Es ist eine Thatsache, dass Sauerstoff in einer Röhre ein intensiveres Licht erzeugt. Ist dies deshalb der Fall, weil Sauerstoffatome eine gewisse Trägheit besitzen und die Schwingungen nicht sofort wieder aufhören? Dann sollte aber Stickstoff ebenso gut, Chlorgas und Dämpfe vieler anderer Körper viel besser sein als Sauerstoff, wofern nicht etwa die magnetischen Eigenschaften des letzteren eine hervorragende Rolle spielen. Oder ist der Vorgang in der Röhre elektrolytischer Natur? Manche Beobachtungen sprechen sicher hierfür, und zwar ist die wichtigste die, dass stets von den Elektroden Materie fortgeführt wird und das Vakuum in einer Birne nicht dauernd erhalten werden kann. Wenn ein solcher Vorgang wirklich stattfindet, so müssen wir wiederum zu hohen Frequenzen unsere Zuflucht nehmen, da bei diesen die elektrolytische Wirkung auf ein Minimum reducirt, wenn nicht ganz unmöglich gemacht werden würde. Es ist eine unläugbare Thatsache, dass bei sehr hohen Frequenzen, vorausgesetzt, dass die Impulse harmonischer Natur sind ähnlich den von einer Wechselstrommaschine erhaltenen, die Elektroden weniger abgenutzt werden und die Vakua länger andauern. Bei Spulen für disruptive

Entladung finden plötzliche Spannungssteigerungen statt und die Vakua werden rascher verschlechtert, da die Elektroden in sehr kurzer Zeit abgenutzt werden. Bei einigen weiten Röhren, welche mit starken an Platindräthen $w\,w_1$ befestigten Kohlenblöcken $B\,B_1$ versehen waren (Fig. 197) und die bei Versuchen mit der disruptiven Entladung an Stelle der gewöhnlichen Luftstrecke benutzt wurden, wurde beobachtet, dass die Kohlentheilchen unter der Wirkung des kräftigen magnetischen Feldes, in welchem die Röhre sich befand, in regelmässigen feinen Linien in der Mitte der Röhre abgelagert wurden, wie aus der Figur ersichtlich ist. Diese Linien wurden der Ablenkung oder Verdrehung der Entladung durch das magnetische Feld zugeschrieben, aber der Grund, warum die Ablagerung hauptsächlich da stattfand, wo das Feld am intensivsten war, erschien nicht ganz klar. Eine andere interessante Thatsache, welche beobachtet wurde, war die, dass das Vorhandensein eines starken magnetischen Feldes den Verschleiss der Elektroden vermehrt, wahrscheinlich wegen der von ihm hervorgebrachten schnellen Unterbrechungen, wodurch eigentlich eine höhere elektromotorische Kraft zwischen den Elektroden aufrecht erhalten wird.

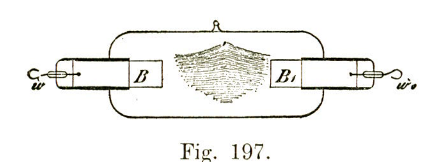


Fig. 197.

Es würde noch vieles über die in Gasen unter geringem oder gewöhnlichem Drucke hervorgebrachten Lichtwirkungen zu sagen sein. Bei unserer gegenwärtigen Erfahrung können wir nicht behaupten, dass die eigentliche Natur dieser reizenden Erscheinungen genügend bekannt sei. Untersuchungen nach dieser Richtung hin werden aber mit ungewöhnlichem Eifer betrieben. Jeder Zweig der wissenschaftlichen Forschung hat seine Reize, aber elektrische Untersuchungen scheinen eine besondere Anziehungskraft zu besitzen, da es keinen Versuch oder keine Beobachtung irgend welcher Art in dem Gebiete dieser wunderbaren Wissenschaft giebt, welche uns nicht mächtig anzöge. Und doch scheint es mir, dass von allen den merkwürdigen Dingen, die wir beobachten, eine Vakuumröhre, welche, durch einen elektrischen Impuls von einer entfernten Quelle erregt, aus der Dunkelheit plötzlich hervortritt und das Zimmer mit ihrem schönen Lichte erleuchtet, eine der lieblichsten Erscheinungen ist, die unsere Augen entzücken können. Noch interessanter ist es, wenn wir durch Verminderung der Fundamentalentladungen durch den Luftraum auf eine sehr geringe Anzahl und durch Herumschwingen der Röhre alle möglichen Zeichnungen in leuchtenden Linien hervorbringen. So nehme ich z. B. der Unterhaltung

wegen eine lange gerade Röhre oder eine quadratische oder ein an einer geraden Röhre befestigtes Quadrat und ahme durch Herumschwingen derselben mit der Hand die Speichen eines Rades, eine Gramme'sche Wickelung, eine Trommelwickelung, die Wickelung eines Wechselstrommotors u. s. w. nach (Fig. 198). Aus der Ferne gesehen ist die Wirkung schwach und es geht viel von ihrer Schönheit verloren, aber in der Nähe gesehen oder wenn man die Röhre in der Hand hält, kann man ihrem Zauber nicht widerstehen.

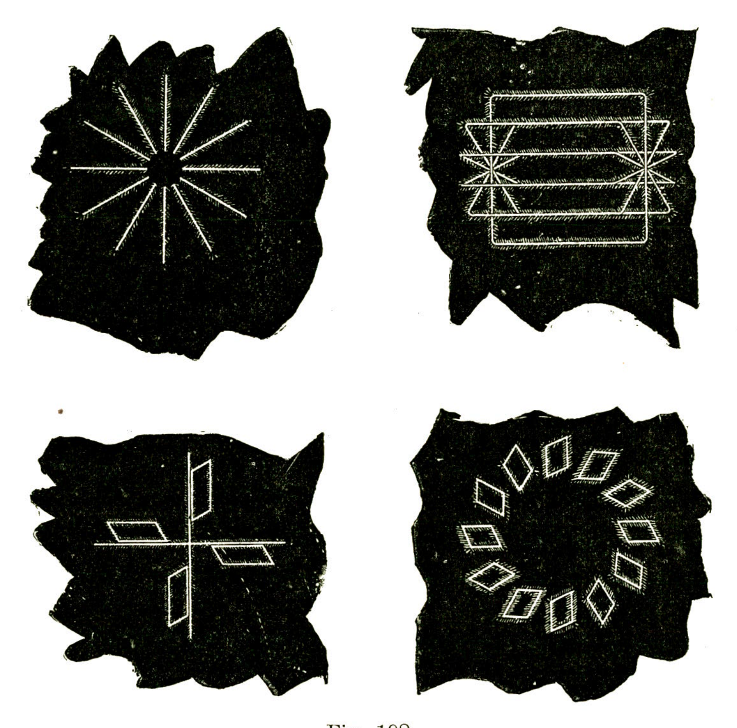


Fig. 198.

Bei der Vorführung dieser unbedeutenden Resultate habe ich nicht versucht, dieselben zu ordnen, wie es bei einer streng wissenschaftlichen Untersuchung zweckmässig sein würde, bei welcher jedes nachfolgende Resultat eine logische Folge der vorhergehenden sein soll, so dass es von dem sorgfältigen Leser oder aufmerksamen Zuhörer im Voraus errathen werden könnte. Ich habe es vorgezogen, meine Kräfte hauptsächlich auf Vorbringung neuer Thatsachen oder Ideen zu koncentriren, welche anderen zur Anregung dienen können, und dies möge als eine Entschuldigung für den Mangel an Harmonie angesehen werden. Die

Erklärungen der Erscheinungen wurden in gutem Glauben und im Geiste eines Lernenden gegeben, der sich bemüht, eine bessere Erklärung für sie ausfindig zu machen. Es kann kein grosser Schaden entstehen, wenn ein Studirender eine irrthümliche Ansicht annimmt, aber wenn grosse Geister irren, muss die Welt deren Irrthümer theuer bezahlen."

---

29. Kapitel.

Ausführlicheres über Tesla's Wechselstromgeneratoren für hohe Frequenz.

Der Betrieb von Bogenlampen mittels Wechsel- oder pulsirenden Strömen zum Unterschiede von Gleichströmen ist längst in die gewöhnliche Praxis eingeführt; ein Einwand aber, der gegen derartige Systeme erhoben wurde, besteht in dem Umstande, dass die Lichtbogen einen markanten Ton aussenden, der mit der Geschwindigkeit der Wechsel oder Pulsationen des Stromes variirt. Dieses Geräusch rührt von der rasch wechselnden Erwärmung und Abkühlung und demgemäss von der Ausdehnung und Zusammenziehung der den Bogen bildenden gasigen Materie her, welche den Perioden oder Impulsen des Stromes entsprechen. Ein anderer Nachtheil liegt in der Schwierigkeit, einen Wechselstrombogen zu unterhalten, infolge des periodischen Anwachsens des Widerstandes entsprechend dem periodischen Arbeiten des Stromes. Dieser Umstand hat einen ferneren Nachtheil zur Folge, nämlich den, dass kleine Bogen unpraktisch sind.

Theoretische Erwägungen haben Tesla zu der Ueberzeugung geführt, dass diese Nachtheile durch Anwendung von Strömen von genügend hoher Wechselzahl vermieden werden könnten, und seine Voraussicht ist in der Praxis bestätigt worden. Diese rapid wechselnden Ströme ermöglichen es, kleine Lichtbogen zu unterhalten, welche nebenbei den Vortheil der Lautlosigkeit und Beständigkeit besitzen. Die letztere Eigenschaft ist den nothwendig raschen Wechseln zuzuschreiben, infolge deren der Bogen keine Zeit zur Abkühlung hat, sondern stets bei hoher Temperatur und geringem Widerstande erhalten wird.

Im Anfange seiner Versuche begegnete Tesla grossen Schwierigkeiten beim Bau von Maschinen für hohe Frequenz. Es soll hier ein derartiger Generator beschrieben werden, der, obwohl schon vor längerer Zeit gebaut, doch einer eingehenderen Beschreibung werth ist. Beiläufig

möge erwähnt werden, dass Maschinen dieser Art von Tesla bei seinen Beleuchtungsversuchen mittels Strömen von hoher Spannung und hoher Frequenz benutzt wurden, und bei seinen an anderer Stelle abgedruckten Vorträgen ist auf diese Maschinen hingewiesen worden. *)

Von den beifolgenden Abbildungen stellen die Fig. 199 und 200 resp. die Maschine im Seitenaufriss und in einem vertikalen Querschnitt,

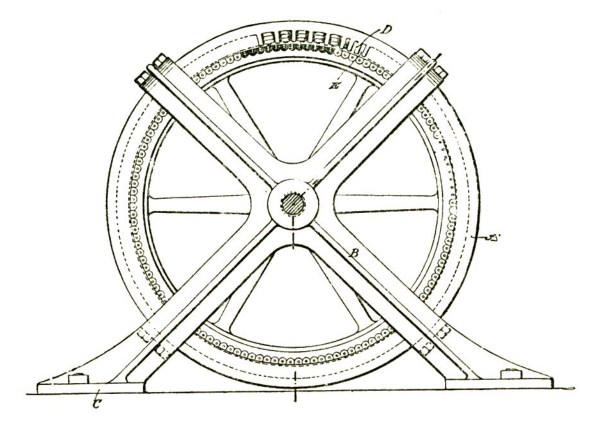


Fig. 199.

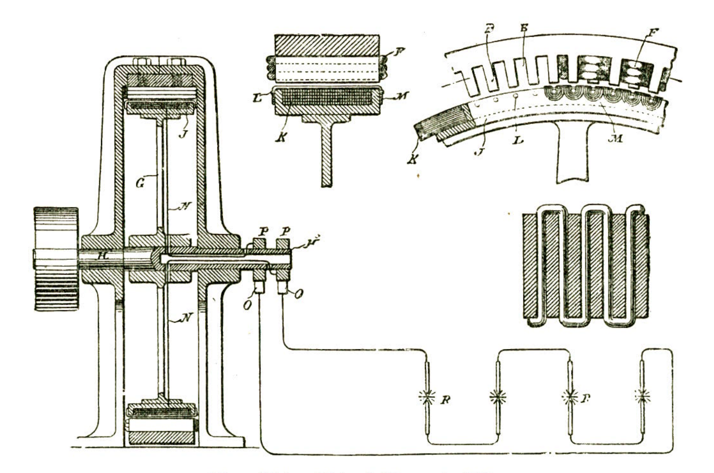


Fig. 200, 201, 202 und 203.

die Fig. 201, 202 und 203 einige Konstruktionsdetails in vergrössertem Maassstabe dar. Wie ersichtlich, ist *A* ein ringförmiger Magnetrahmen, dessen innerer Rand mit einer grossen Anzahl von Polstücken *D* ver-

*) Vergl. S. 150, 151 und 152.

sehen ist. Infolge der sehr grossen Anzahl und der sehr geringen Grösse der Polstücke und der Räume zwischen ihnen sind die Feldspulen derart aufgebracht, dass ein isolirter Leiter *F* zickzackförmig in die Vertiefungen gewickelt (Fig. 203) und beliebig oft um den Ring herumgeführt ist. Hierdurch werden die Polstücke *D* mit abwechselnd entgegengesetzten Polaritäten um den ganzen Ring herum erregt.

Als Anker wendet Tesla ein Speichenrad an, welches einen Ring *J* trägt, der, ausser an den Rändern, abgedreht ist, so dass er eine trogartige Vertiefung zur Aufnahme einer Anzahl dünner ausgeglühter Eisendrähte *K* besitzt, die derart in die Nuthe eingelegt sind, dass sie einen passenden Kern für die Ankerspulen bilden. In die Seiten des Ringes *J* sind Bolzen *L* eingesetzt und die Spulen *M* sind über den Umfang der Ankerkonstruktion und um die Bolzen herumgewickelt. Die Spulen *M* sind hinter einander geschaltet und deren Enden *N* durch die hohle Achse *H* nach Kontaktringen *PP* geführt, von denen die Ströme durch Bürsten *O* abgenommen werden.

Auf diese Weise kann man eine Maschine mit einer sehr grossen Anzahl von Polen konstruiren. Man kann z. B. leicht auf diese Weise 375 bis 400 Pole bei einer Maschine erhalten, die mit einer Geschwindigkeit von 1500 oder 1600 Umdrehungen per Minute sicher betrieben werden kann, was 10 000 oder 11 000 Stromwechseln in der Sekunde entsprechen würde. Fig. 200 zeigt Bogenlampen *RR*, welche mit der in der Figur dargestellten Maschine in Reihenschaltung verbunden sind. Wird ein solcher Strom zum Betriebe von Bogenlampen verwendet, so so ist der durch den Bogen oder in dem Bogen erzeugte Ton praktisch nicht mehr wahrnehmbar, da bei Vermehrung der Aenderungsgeschwindigkeit des Stromes und demgemäss der Anzahl der sekundlichen Schwingungen der gasförmigen Materie des Bogens bis zu 10 000 oder 11 000 oder darüber hinaus, oder was sonst als Grenze der Wahrnehmbarkeit betrachtet wird, der von solchen Schwingungen herrührende Ton nicht mehr hörbar ist. Die genaue zur Hervorbringung dieses Resultats erforderliche Anzahl von Wechseln oder Undulationen wird je nach der Grösse des Bogens etwas verschieden sein, d. h. je kleiner der Bogen ist, um so grösser ist die Zahl der Wechsel, welche erforderlich ist, um den Bogen innerhalb bestimmter Grenzen unhörbar zu machen. Ferner ist zu bemerken, dass der Bogen eine gewisse Länge nicht überschreiten sollte.

Die bei dem Bau solcher Maschinen sich ergebenden Schwierigkeiten sind sowohl mechanischer wie elektrischer Natur. Die Maschine kann nach zwei verschiedenen Plänen entworfen werden: Entweder

nämlich kann das Feld von abwechselnden Polen oder von Polvorsprüngen der gleichen Polarität gebildet werden. Bis zu 15 000 Wechseln per Sekunde kann man bei einer Versuchsmaschine den ersten Weg einschlagen, eine wirksamere Maschine aber erhält man auf dem zweiten Wege.

Bei der oben beschriebenen Maschine, welche zwei Bogenlampen von normaler Kerzenstärke betreiben konnte, bestand das Feld aus einem schmiedeeisernen Ringe von 81 cm äusserem Durchmesser und etwa 25 mm Dicke. Der innere Durchmesser betrug 75 cm. Es waren 384 Polvorsprünge vorhanden. Der Draht wurde in Zickzackform gewickelt, aber zwei Drähte wurden derart gewickelt, dass sie die Vorsprünge vollständig einhüllten. Die Entfernung zwischen den einzelnen Vorsprüngen betrug 4,5 mm und ihre Dicke etwas über 1,5 mm. Der Feldmagnet wurde verhältnissmässig klein gemacht, um die Maschine für einen konstanten Strom einzurichten. Es sind 384 in zwei Reihen geschaltete Spulen vorhanden. Es erwies sich mit Rücksicht auf die lokalen Wirkungen als unthunlich, dickere als etwa $^3/_4$ mm starke Drähte zu verwenden. Der Luftraum muss bei einer solchen Maschine so klein als möglich sein; aus diesem Grunde wurde die Maschine nur ca. 32 mm breit gemacht, so dass die Bindedrähte wegfallen konnten. Die Ankerdrähte müssen mit grosser Sorgfalt aufgewickelt werden, da sie sonst infolge der grossen Umfangsgeschwindigkeit leicht abfliegen. Bei verschiedenen Versuchen machte diese Maschine 3000 Umdrehungen in der Minute. Infolge dieser grossen Geschwindigkeit konnte man von der Maschine einen Strom von 10 Ampère erhalten. Die elektromotorische Kraft wurde mittels eines adjustirbaren Kondensators innerhalb sehr weiter Grenzen regulirt, und zwar waren die Grenzen um so weiter, je grösser die Geschwindigkeit war. Diese Maschine wurde häufig benutzt, um die Lampen in Tesla's Laboratorium zu betreiben.

Die eben beschriebene Maschine war nur eine der vielen Typen, welche gebaut wurden. Dieselbe war für eine Versuchsmaschine ganz geeignet, wenn aber noch höhere Wechselzahlen erwünscht sind und eine höhere Leistungsfähigkeit erforderlich ist, dann ist eine der in den Fig. 204 bis 207 dargestellten Maschinentypen vorzuziehen. Der Hauptvortheil dieser Maschinentype besteht darin, dass die magnetische Streuung nicht sehr gross ist und ein Feld erzeugt werden kann, welches an nicht weit von einander entfernten Stellen in seiner Intensität stark variirt.

Die Figuren 204 und 205 zeigen eine Maschine mit stationären Anker- und Feldspulen und rotirendem Feldmagnetkern; Fig 206 stellt eine nach demselben Plane gebaute Maschine aber mit feststehendem Feldmagneten und rotirendem Anker dar.

Der Leiter, in welchem die Ströme inducirt werden, lässt sich in verschiedener Weise anordnen; Tesla giebt jedoch der folgenden Methode den Vorzug. Er nimmt eine ringförmige Kupferplatte *D* und schneidet mittels einer Säge radiale Schlitze von einem Rande bis nahe an den andern in dieselbe ein und zwar so, dass er abwechselnd an den beiden Rändern beginnt. Auf diese Weise wird ein zusammenhängender zickzackförmiger Leiter hergestellt. Sind die Polvorsprünge 3 mm breit, so darf die Breite des Leiters unter keinen Umständen mehr als 0,8 mm betragen, da auch dann noch die Wirbelströme beträchtlich sind.

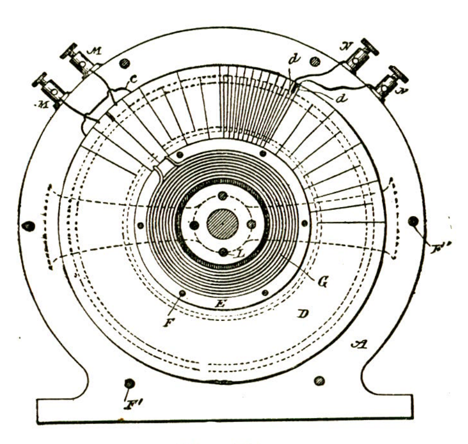


Fig. 204.

An dem inneren Rande dieser Platte sind zwei Ringe *E* aus nichtmagnetischem Material befestigt, welche von dem Kupferleiter isolirt

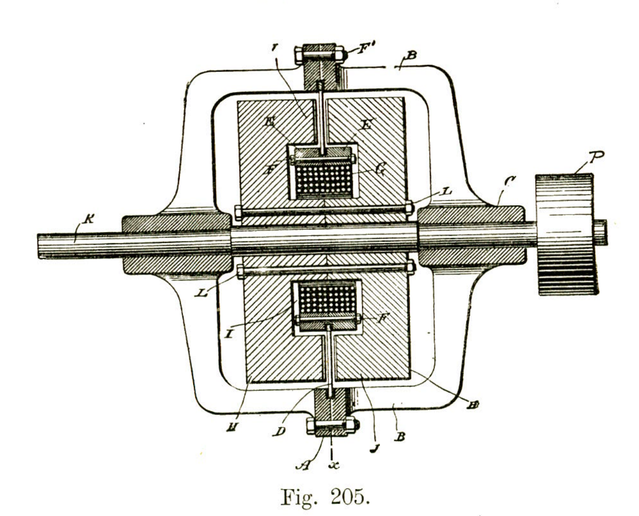


Fig. 205.

sind, aber mittels der Bolzen *F* fest an demselben gehalten werden. In den Ring *E* ist dann eine ringförmige Spule *G* gesetzt, welche die Erregungsspule für den Feldmagnet ist. Der Leiter *D* und die an ihm befestigten Theile werden von dem cylindrischen Gehäuse *A A* getragen,

dessen beide Theile zusammengefügt und an dem äusseren Rande des Leiters D befestigt sind.

Der Kern des Feldmagneten ist aus zwei kreisförmigen Theilen HH aufgebaut, welche mit ringförmigen Nuthen I versehen sind, die

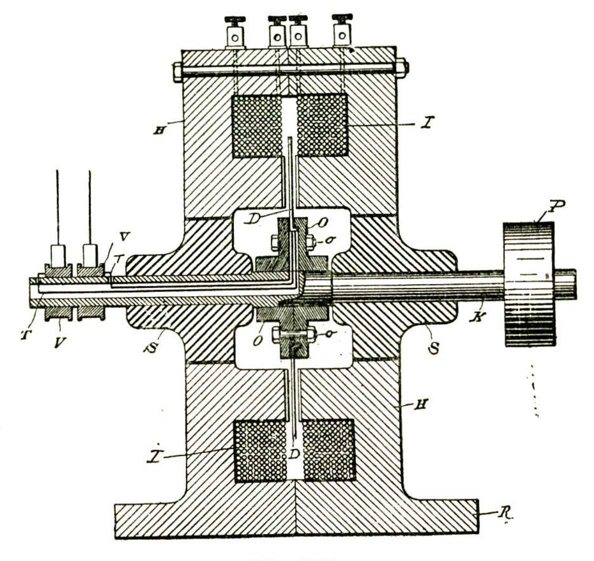


Fig. 206.

nach Aneinanderfügung der beiden Theile einen Raum zur Aufnahme der Erregungsspule G bilden. Die Naben der Kerne sind abgedreht, so dass sie genau an einander passen, während die äusseren Theile oder Flanschen, welche die Polflächen JJ bilden, sich etwas verjüngen, so dass sie Raum für den Leiter D lassen, und an ihren Vorderflächen gerippt sind. Die Zahl der Rippen auf den Polflächen ist willkürlich; es muss jedoch zwischen ihnen und den radialen Theilen des Leiters D eine gewisse Beziehung bestehen, welche aus Fig. 207 deutlich wird, in welcher NN die Vorsprünge oder Rippen auf der einen Fläche des Feldmagnetkernes und SS die Rippen auf der andern darstellen. Der Leiter D ist in dieser Figur im Querschnitt dargestellt, wobei $a\,a'$ die radialen Theile des Leiters und b die isolirenden Zwischenstücke bezeichnen. Die relative Breite der Theile $a\,a'$ und des Raumes zwischen zwei benachbarten Rippen NN oder SS ist derart, dass, wenn die

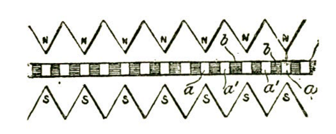


Fig. 207.

radialen Theile a des Leiters zwischen den gegenüberliegenden Rippen NS, wo das Feld am stärksten ist, hindurchgehen, die zwischenliegenden radialen Theile a' durch die breitesten Räume mitten zwischen diesen Rippen, da wo das Feld am schwächsten ist, hindurchgehen. Da der Kern auf der einen Seite von entgegengesetzter Polarität ist wie der ihm gegenüberliegende Theil, so werden sämmtliche Vorsprünge auf der einen Polfläche entgegengesetzte Polarität haben wie die auf der andern. Obwohl demnach der Raum zwischen je zwei angrenzenden Rippen auf derselben Fläche ausserordentlich klein sein kann, wird doch keine Streuung magnetischer Kraftlinien zwischen irgend zwei gleichnamigen Rippen stattfinden, sondern alle Kraftlinien gehen quer durch von einer Reihe Rippen nach der andern. Die hier befolgte Konstruktion vermeidet in hohem Grade die Ablenkung der magnetischen Kraftlinien infolge der Wirkung des Stromes im Leiter D, in welchem der Strom zu einer gegebenen Zeit in der einen Reihe radialer Theile a vom Mittelpunkte nach der Peripherie, in den angrenzenden Theilen a' dagegen in entgegengesetzter Richtung fliesst.

Zur Anschliessung der Erregungsspule G (Fig. 204) an eine Gleichstromquelle benutzt Tesla zwei benachbarte radiale Theile des Leiters D, um die Enden der Spule G mit zwei Klemmschrauben M zu verbinden. Zu diesem Zwecke ist die Platte D, wie ersichtlich, vollständig durchgeschnitten und die auf diese Weise gebildete Lücke ist mit einem kurzen Leiterstück C überbrückt. Die Platte D ist durchgeschnitten, um zwei Enden d zu erhalten, welche mit Klemmschrauben N verbunden sind. Der Kern HH erzeugt, bei seiner Rotation vermittelst des Triebrades, in den Leitern D einen Wechselstrom, welcher an den Klemmen N abgenommen werden kann.

Will man den Leiter zwischen den Polflächen eines stationären Feldmagneten rotiren lassen, so wird die in Fig. 206 dargestellte Konstruktion angewendet. Der Leiter D ist in diesem Falle ganz ebenso wie oben durch Aufschlitzung einer ringförmigen leitenden Platte gebildet. Dieselbe ist zwischen zwei Kappen O angebracht, die durch Bolzen o zusammengehalten und an der Triebwelle K befestigt sind. Der innere Rand der Platte oder des Leiters D wird am besten mit Flanschen versehen, um eine festere Verbindung zwischen ihm und den Kappen O zu sichern. Derselbe ist von der Kappe isolirt. Der Feldmagnet besteht in diesem Falle aus zwei ringförmigen Theilen HH, die mit ringförmigen Nuthen I zur Aufnahme der Spulen versehen sind. Die die ringförmigen Nuthen umgebenden Flanschen werden an einander gefügt, während die inneren Flanschen, wie im vorhergehenden Falle, gerippt

sind und die Polflächen bilden. Die beiden Theile HH sind mit einer Grundplatte R versehen, auf welcher die Maschine ruht. SS sind Büchsen aus nichtmagnetischem Material, welche in der mittleren Ausbohrung der Kerne angebracht sind. Der Leiter D ist an einer Stelle vollständig durchgeschnitten, so dass zwei Pole gebildet werden, von denen isolirte Leiter T durch die Welle hindurch zu Kollektorringen V geführt sind.

Bei einer von Tesla gebauten Maschinentype dieser Art hatte das Feld jederseits 480 Polvorsprünge und mit dieser Maschine war es möglich, 30000 Wechsel in der Sekunde zu erhalten. Da die Polvorsprünge der Natur der Sache nach sehr eng an einander stehen, so muss man sehr dünne Drähte oder Bleche benutzen, um die Wirbelströme zu vermeiden. Tesla hat auf diese Weise Maschinen mit feststehendem Anker und rotirendem Felde gebaut, in welchem Falle ferner die Feldspule fest gelagert war, so dass der rotirende Theil nur aus einem schmiedeeisernen Körper ohne jeden Draht bestand, und ebenso auch Maschinen mit rotirendem Anker und feststehendem Felde. Die Maschinen können mit Trommel- oder Scheibenanker versehen sein, doch verdienen die letzteren nach Tesla's Erfahrung den Vorzug.

Im Verlaufe eines sehr interessanten, in der Zeitschrift „The Electrical World", Februar 1891, veröffentlichten Artikels macht Tesla einige inhaltreiche Bemerkungen über diese Hochfrequenzmaschinen und seine Erfahrungen mit denselben sowie über andere Theile der für hohe Frequenzen dienenden Apparate. Jener Artikel ist hier auszugsweise wiedergegeben.

„Ich will nur beiläufig erwähnen, dass Jeder, der zum ersten Male eine solche Maschine zu bauen versucht, sehr viele Mühe damit haben wird. Er wird natürlich zunächst einen Anker mit der erforderlichen Anzahl von Polvorsprüngen herstellen. Er wird dann die Freude haben, einen Apparat hervorgebracht zu haben, der durchaus geeignet wäre, eine Oper Wagner'schen Styles zu begleiten. Derselbe würde ferner die Eigenschaft besitzen, dass sich mit ihm in nahezu vollkommener Weise mechanische Energie in Wärme verwandeln lässt. Findet dabei eine Umkehrung in der Polarität der Polvorsprünge statt, so kann er ausserhalb der Maschine Wärme erzeugen; findet keine Umkehrung statt, so wird die Erwärmung zwar geringer, aber die Leistung nahezu gleich Null sein. Er wird dann wohl das Eisen im Anker weglassen und wird dann aus dem Regen in die Traufe kommen. Die eine

Schwierigkeit wird er zu finden glauben und eine andere wirklich antreffen, nach einigen Versuchen jedoch wird er zum gewünschten Ziele kommen.

Unter den vielen Versuchen, welche mit einer solchen Maschine angestellt werden können, bieten diejenigen mit einer Induktionsspule hoher Spannung nicht am wenigsten Interesse. Der Charakter der Entladung ist ein völlig anderer. Der Lichtbogen bildet sich auf viel grössere Entfernungen und wird so leicht durch den leisesten Luftstrom beeinflusst, dass er oft in ganz eigenartiger Weise hin- und herflattert. Er sendet den den Wechselstrombogen eigenthümlichen rhythmischen Ton aus, das Merkwürdige aber dabei ist, dass dieser Ton bei einer Anzahl von Wechseln weit über 10000 per Sekunde vernehmbar ist, was von vielen ungefähr als die Grenze der Wahrnehmbarkeit betrachtet wird. In vielen Hinsichten verhält sich die Spule wie eine elektrostatische Maschine. Spitzen beeinträchtigen erheblich das Funkenintervall, da die Elektricität aus ihnen frei ausströmen kann, und von einem Draht, der an der einen der Klemmen befestigt ist, gehen Lichtbüschel aus, als ob derselbe mit einem Pol einer kräftigen Toepler'schen Maschine verbunden wäre. Alle diese Erscheinungen haben natürlich ihren hauptsächlichen Grund in der enormen Potentialdifferenz, die man erhält. Infolge der Selbstinduktion der Spule und der hohen Wechselzahl ist der Strom nur gering, während eine entsprechende Erhöhung der Spannung eintritt. Ein Stromimpuls von gewisser Stärke, der in einer solchen Spule entsteht, sollte nicht weniger als $^4/_{10\,000}$ Sekunden lang andauern. Da diese Zeit grösser ist als eine halbe Periode, so geschieht es, dass eine entgegengesetzte elektromotorische Kraft zu wirken beginnt, während der Strom noch fliesst. Infolgedessen steigt die Spannung, wie die Flüssigkeit in einer Röhre, die schnell um ihre Achse gedreht wird. Der Strom ist so gering, dass, wie ich glaube und wie ich unfreiwilliger Weise an mir selbst erfahren habe, die Entladung selbst einer sehr grossen Spule keine ernsthaft unangenehmen Wirkungen hervorrufen kann, während, wenn die nämliche Spule mit einem Strom von geringerer Frequenz bethätigt wird, die Entladung gewiss sehr schmerzhaft sein würde, obwohl die elektromotorische Kraft viel geringer ist. Dieses Resultat ist jedoch zum Theil der hohen Wechselzahl zuzuschreiben. Aus meinen Untersuchungen scheint hervorzugehen, dass je höher die Frequenz ist, um so grösser der Betrag an elektrischer Energie ist, welcher durch den Körper ohne ernste Unannehmlichkeit hindurchgeschickt werden kann, woraus mit Sicherheit zu schliessen sein dürfte, dass die menschlichen Gewebe wie Kondensatoren wirken.

Wie sich die Spule verhalten wird, wenn sie mit einer Leydener Flasche verbunden ist, darüber hat man von vorneherein keine rechte Vorstellung. Man denkt sich natürlich, dass wegen der hohen Frequenz die Kapacität der Flasche klein sein müsse. Man nimmt daher eine sehr kleine Flasche, etwa von der Grösse eines kleinen Weinglases, aber man findet, dass selbst bei dieser Flasche die Spule praktisch kurzgeschlossen ist. Man reducirt dann die Kapacität, bis sie etwa der Kapacität zweier Kugeln von ca. 10 cm Durchmesser und 2—4 cm Abstand gleichkommt. Die Entladung nimmt dann die Form eines sägeförmig ausgezackten Bandes an, genau gleich einer Funkenreihe, wie man sie in einem schnell rotirenden Spiegel sieht; die Zacken entsprechen natürlich den Entladungen des Kondensators. In diesem Falle kann man eine seltsame Erscheinung beobachten. Die Entladung geht von den nächsten Punkten aus, breitet sich allmählich aus, bricht in der Nähe der obersten Punkte der Kugeln ab, beginnt wiederum unten und so fort. Dies geht so schnell vor sich, dass man mehrere zackige Bänder zu gleicher Zeit sehen kann. Man kann einige Minuten lang verblüfft sein, aber die Erklärung ist einfach genug. Die Entladung beginnt an den einander am nächsten gelegenen Punkten, die Luft wird erwärmt und zieht den Lichtbogen in die Höhe, bis er bricht, wo er dann an den nächst gelegenen Punkten wieder auftritt und so weiter. Da der Strom durch einen Kondensator selbst von kleiner Kapacität leicht hindurchgeht, wird man es völlig natürlich finden, dass, wenn man nur einen Pol mit einem Körper von gleicher Grösse verbindet, keine noch so gut isolirte Substanz die Durchschlagsentfernung des Bogens erheblich beeinträchtigt.

Versuche mit Geissler'schen Röhren sind von besonderem Interesse. Eine luftleere Röhre ohne irgendwelche Elektroden leuchtet auf in einiger Entfernung von der Spule. Befindet sich ein Cylinder einer Vakuumpumpe in der Nähe der Spule, so wird die ganze Pumpe brillant erleuchtet. Eine Glühlampe in die Nähe der Spule gebracht, leuchtet auf und wird merklich heiss. Sind die Pole einer Lampe mit einer der Klemmschrauben der Spule verbunden und nähert man die Hand der Glasbirne, so findet eine sehr eigenthümliche und ziemlich unangenehme Entladung von dem Glase nach der Hand hin statt und der Faden der Lampe kann glühend werden. Die Entladung gleicht in etwas dem Lichtbüschel, welches von den Platten einer kräftigen Toepler'schen Maschine ausgeht, doch ist sie von unvergleichlich grösserer Mächtigkeit. Die Lampe wirkt in diesem Falle wie ein Kondensator, bei welchem das verdünnte Gas die eine Belegung und die Hand des Experimentators die andere Belegung bildet. Nimmt man die Kugel

einer Lampe in die Hand und bringt man die Metallklemmen in die Nähe eines mit der Spule verbundenen Leiters oder in Berührung mit einem solchen, so wird der Kohlenfaden hochglühend und das Glas sehr schnell heiss. Mit einer 100 voltigen Lampe von 10 NK. kann man ohne grosse Beschwerden einen Strom aushalten, der eine beträchtliche Helligkeit der Lampe hervorzubringen vermag, jedoch kann man die Lampe nur wenige Minuten in der Hand halten, da das Glas in unglaublich kurzer Zeit heiss wird. Wenn eine Röhre dadurch zum Leuchten gebracht wird, dass man sie in die Nähe der Spule bringt, so kann man sie wieder zum Verlöschen bringen, indem man eine Metallplatte mit der Hand zwischen die Spule und die Röhre hält; wird dagegen die Metallplatte an einer Glasstange befestigt oder sonstwie isolirt, so kann die Röhre, auch wenn die Platte vorgehalten wird, leuchtend bleiben oder sogar noch heller aufleuchten. Der Effekt hängt ab von der Lage der Platte und der Röhre relativ zur Spule und kann stets leicht vorausgesagt werden, wenn man annimmt, dass zwischen dem einen und dem andern Ende der Spule Leitung stattfindet. Je nach der Lage der Platte kann dieselbe den Strom entweder von der Röhre ablenken oder denselben nach ihr hinlenken.

Bei einer anderen Reihe von Versuchen habe ich oft Glühlampen von 50 oder 100 Volt mit jeder gewünschten Kerzenstärke brennend erhalten, wenn die beiden Klemmen jeder Lampe mit einem starken Kupferdrahte von nur wenigen Fuss Länge verbunden wurden. Diese Versuche erscheinen interessant genug, indessen sind sie nicht interessanter als das merkwürdige Experiment von Faraday, welches von neueren Forschern vielfach wiederholt worden ist und bei welchem ein Funken zwischen zwei Punkten eines gebogenen Kupferdrahtes zum Ueberspringen gebracht wird. Ein Versuch möge hier erwähnt werden, der ebenso interessant sein dürfte. Wird eine Geissler'sche Röhre, deren Enden durch einen Kupferdraht verbunden sind, der Spule genähert, so würde wohl Niemand erwarten zu sehen, dass die Röhre aufleuchtet. Seltsamer Weise aber leuchtet sie doch auf und, was noch merkwürdiger ist, der Draht macht keinen grossen Unterschied. Nun könnte man im ersten Augenblicke denken, dass die Selbstinduktion des Drahtes etwas mit der Erscheinung zu thun habe. Doch erkennt man unmittelbar das Unrichtige dieser Ansicht, da in diesem Falle eine enorme Polwechselzahl erforderlich sein würde. Das Resultat erscheint aber nur im ersten Augenblick überraschend; bei weiterer Ueberlegung wird es ganz klar, dass der Draht nur einen geringen Unterschied machen kann. Es kann dies auf mehrfache Weise erklärt werden, doch stimmt es vielleicht am

besten mit der Beobachtung überein, wenn man annimmt, dass durch den Raum hindurch Leitung zwischen den Enden der Spule stattfindet. Bei dieser Annahme kann, wenn die Röhre mit dem Drahte in irgend einer Lage gehalten wird, der Draht kaum mehr als den Strom ablenken, welcher durch den Raum hindurchgeht, der von dem Drahte und den Metallklemmen der Röhre eingenommen wird; durch den angrenzenden Raum geht der Strom praktisch ungestört hindurch. Aus diesem Grunde bringt der Draht, wenn die Röhre in irgend einer Lage rechtwinklig zur Verbindungslinie der Klemmschrauben der Spule gehalten wird, kaum einen Unterschied hervor, während er in einer zu jener Linie mehr oder weniger parallelen Lage die Helligkeit der Röhre bis zu einem gewissen Grade schwächt und sie weniger leicht aufleuchten lässt. Zahlreiche andere Erscheinungen können durch dieselbe Annahme erklärt werden. Werden z. B. die Enden der Röhre mit Blechen von hinreichender Grösse versehen und wird die Röhre in der Verbindungslinie der Klemmen der Spule gehalten, so findet kein Aufleuchten statt, und dann wird nahezu der ganze Strom, der sonst gleichmässig durch den Raum zwischen den Blechen hindurchgehen würde, durch den Draht abgelenkt. Wird aber die Röhre gegen jene Linie hinreichend geneigt, so leuchtet sie auf trotz der Bleche. Wenn man ferner eine Metallplatte auf einem Glasstab befestigt und dieselbe rechtwinklig zu der Verbindungslinie der Klemmen hält und zwar etwas näher zu der einen, so wird eine Röhre, welche jener Linie mehr oder weniger parallel gehalten wird, sofort aufleuchten, sobald einer ihrer Pole die Platte berührt, und verlöschen, sobald sie von der Platte getrennt wird. Je grösser die Fläche der Platte bis zu einer gewissen Grenze ist, um so leichter leuchtet die Röhre auf. Wird eine Röhre rechtwinklig zu der geraden Verbindungslinie der Klemmen gehalten und dann rotirt, so nimmt die Leuchtkraft derselben beständig zu, bis die Röhre parallel mit jener Linie ist. Ich will jedoch keineswegs behaupten, dass die Vorstellung eines unmittelbaren Stromüberganges durch den Raum etwas mehr als eine passende Erklärung sei, denn ich bin überzeugt, dass alle diese Versuche mit einer elektrostatischen Maschine, welche eine konstante Potentialdifferenz innehält, nicht ausgeführt werden könnten, dass vielmehr bei diesen Erscheinungen Kondensatorwirkungen eine grosse Rolle spielen.

Man muss jedoch, wenn man zur Bethätigung einer Ruhmkorff'schen Spule sehr rasch wechselnde Ströme anwendet, gewisse Vorsichtsmaassregeln beobachten. Der Primärstrom darf nicht zu lange eingeschaltet sein, da sonst der Kern so heiss werden könnte, dass die Guttapercha oder das Paraffin schmilzt oder überhaupt die Isolation be-

schädigt wird, und zwar kann dies trotz der geringen Stromstärke in überraschend kurzer Zeit geschehen. Ist der Primärstrom eingeschaltet, so kann man die Enden des dünnen Drahtes ohne grosse Gefahr verbinden, da der scheinbare Widerstand so gross ist, dass es schwierig ist, durch den dünnen Draht soviel Strom hindurchzuschicken, dass derselbe beschädigt werden könnte, und in der That ist die Spule im Allgemeinen weit geschützter, wenn die Enden des dünnen Drahtes verbunden, als wenn sie isolirt sind; besonders vorsichtig aber muss man sein, wenn die Enden mit den Belegungen einer Leydener Flasche verbunden sind; denn in der Nähe der kritischen Kapacität, welche gerade der Selbstinduktion bei der vorhandenen Frequenz das Gleichgewicht hält, könnte die Spule leicht das Schicksal St. Polykarps haben. Wenn eine kostspielige Vakuumröhre zum Aufleuchten kommt, wenn sie sich in der Nähe der Spule oder in Berührung mit einem Drahte befindet, der mit einer der Klemmen in Verbindung steht, so sollte man den Strom nicht länger als einige Augenblicke eingeschaltet lassen, da sonst das Glas durch die Erwärmung des verdünnten Gases an einer der engen Stellen leicht zerbrechen könnte, wie ich aus eigener Erfahrung konstatiren kann.*)

Es giebt noch sehr viele andere interessante Punkte, welche beim Gebrauch einer solchen Maschine beobachtet werden können. Versuche mit dem Telephon, einem Leiter in einem starken Felde oder mit einem Kondensator oder Lichtbogen scheinen sicher zu beweisen, dass Töne weit über die gewöhnlich angenommene Grenze der Hörbarkeit wahrgenommen werden können. Ein Telephon wird Töne von 12000 bis 13000 Schwingungen per Sekunde aussenden; alsdann beginnt die Unfähigkeit des Kernes, solchen schnellen Wechseln zu folgen. Wird jedoch der Magnet und der Kern durch einen Kondensator ersetzt, und werden die Klemmen mit dem hochgespannten Sekundärstrom eines Transformators verbunden, so können noch höhere Töne wahrgenommen werden. Wird der Strom um einen aus dünnen Blechen bestehenden Kern herumgeschickt und ein kleines Stück dünnen Eisenblechs lose gegen den Kern gehalten, so kann man einen Ton von 13000 bis 14000 Schwingungen per Sekunde hören, vorausgesetzt dass der Strom

---

*) Es dürfte jedoch die Bemerkung nicht überflüssig sein, dass zwar die Induktionsspule bei Anwendung so schnell wechselnder Ströme ein ganz gutes Resultat geben kann, dass aber ihre Konstruktion, ganz abgesehen von dem Eisenkern, sie doch für hohe Frequenzen ungeeignet machen kann, und dass man, um die besten Resultate zu erhalten, die Konstruktion derselben sehr modificiren muss.

genügend stark ist. Eine kleine Spule allerdings, welche dicht zwischen die Pole eines kräftigen Magneten geklemmt ist, sendet einen Ton mit der erwähnten Schwingungszahl aus, und Lichtbogen können mit noch höherer Schwingungszahl gehört werden. Die Grenze der Wahrnehmbarkeit wird verschieden geschätzt. In Sir William Thomson's Schriften wird irgendwo behauptet, dass 10000 per Sekunde, oder so herum, die Grenze sei. Andere, aber weniger verlässliche Quellen geben sie auf 24000 per Sekunde an. Die obigen Versuche haben mich überzeugt, dass Töne von unvergleichlich höherer Schwingungszahl wahrgenommen werden würden, wenn sie mit genügender Stärke hervorgebracht werden könnten. Es ist kein Grund vorhanden, warum dem nicht so sein sollte. Die Verdichtungen und Verdünnungen der Luft würden nothwendig das Trommelfell in eine entsprechende Schwingung versetzen, und es würde, welches auch immer innerhalb gewisser Grenzen die Schnelligkeit der Fortpflanzung zu den Nervencentren sein möge, eine gewisse Empfindung hervorgerufen werden, obwohl es wahrscheinlich ist, dass das Ohr aus Mangel an Uebung nicht fähig sein würde, jeden so hohen Ton zu unterscheiden. Bei dem Auge verhält es sich anders. Wenn der Gesichtssinn, wie viele glauben, auf einer gewissen Resonanzwirkung beruht, so könnte eine Erhöhung in der Intensität der Aetherschwingungen unsern Sehbereich auf keiner der beiden Seiten des sichtbaren Spektrums erweitern.

Die Grenze der Hörbarkeit eines Lichtbogens hängt von seiner Grösse ab. Je grösser durch eine gegebene Wärmewirkung in dem Bogen die Oberfläche desselben ist, um so höher ist die Grenze der Hörbarkeit. Die höchsten Töne werden von den hochgespannten Entladungen einer Induktionsspule ausgesandt, bei welchen der Bogen gewissermassen ganz Oberfläche ist. Ist R der Widerstand eines Bogens und C der Strom und werden die linearen Dimensionen n-mal vergrössert, dann ist der Widerstand $\frac{R}{n}$ und bei der nämlichen Stromdichte würde der Strom sein: $n^2 C$. Hiernach ist der Wärmeeffekt n^3-mal grösser, während die Oberfläche nur n^2-mal so gross ist. Aus diesem Grunde würden sehr grosse Bogen auch bei einer sehr niedrigen Frequenz keinen rhythmischen Ton aussenden. Indessen muss bemerkt werden, dass der ausgesandte Ton in gewissem Grade von der Zusammensetzung der Kohle abhängt. Wenn die Kohle sehr feuerbeständiges Material enthält, so wird dieses, wenn erhitzt, die Temperatur des Bogens gleichförmig zu erhalten suchen und der Ton wird geschwächt werden; hieraus würde hervorgehen, dass man bei Wechselstrombogen solche Kohlen anwenden muss.

Mit Strömen von so hohen Frequenzen ist man im Stande, geräuschlose Lichtbogen zu erhalten, indessen wird die Regulirung der Lampe ausserordentlich schwierig mit Rücksicht auf die äusserst kleinen Anziehungen oder Abstossungen zwischen Leitern, welche diese Ströme führen.

Eine interessante Eigenthümlichkeit des durch solche rasch wechselnden Ströme erzeugten Lichtbogens ist seine Beständigkeit. Für dieselbe giebt es zwei Ursachen, von denen die eine stets, die andere nur zuweilen vorhanden ist. Die eine rührt von dem Charakter des Stromes, die andere von einer Eigenschaft der Maschine ab. Die erste Ursache ist die wichtigere und beruht direkt auf der Schnelligkeit der Wechsel. Wenn ein Lichtbogen durch einen periodisch undulirenden Strom hervorgebracht wird, so entsteht eine entsprechende Undulation in der Temperatur der Gassäule und daher eine entsprechende Undulation in dem Widerstande des Bogens. Der Widerstand des Bogens ändert sich aber enorm mit der Temperatur der Gassäule und ist praktisch unendlich gross, wenn das Gas zwischen den Elektroden kalt ist. Die Beständigkeit des Bogens ist daher bedingt durch die Unfähigkeit der Gassäule, sich abzukühlen. Aus diesem Grunde ist es unmöglich, einen Lichtbogen mit einem nur wenige Male in der Sekunde wechselnden Strome zu erhalten. Andererseits erhält man mit einem praktisch gleichgerichteten Strome leicht den Lichtbogen, da die Gassäule beständig auf hoher Temperatur und niedrigem Widerstande gehalten wird. Je höher die Frequenz, um so kleiner ist das Zeitintervall, während dessen der Bogen sich abkühlen und erheblich an Widerstand zunehmen kann. Bei einer Frequenz von 10 000 per Sekunde oder mehr finden in einem Lichtbogen von gleichem Umfange ausserordentlich geringe Temperaturschwankungen statt, welche nur wenig über oder unter eine konstante Temperatur hinausgehen, gleichwie Kräuselwellen auf der Oberfläche des Meeres. Der Wärmeeffekt ist praktisch konstant und der Bogen verhält sich wie ein von einem Gleichstrom erzeugter Lichtbogen, mit dem Unterschiede jedoch, dass er nicht ganz so leicht beginnt und dass die Elektroden gleichmässig abgenutzt werden. Trotzdem habe ich aber einige Unregelmässigkeiten in dieser Hinsicht beobachtet.

Die andere oben erwähnte Ursache, die aber möglicherweise nicht vorhanden zu sein braucht, beruht auf der Tendenz einer Maschine von so hoher Frequenz, einen praktisch konstanten Strom zu unterhalten. Wird der Bogen verlängert, so steigt die elektromotorische Kraft proportional und der Bogen scheint beständiger zu sein.

Eine derartige Maschine ist in hervorragendem Maasse geeignet, einen konstanten Strom zu geben, dagegen ist sie sehr ungeeignet für

konstante Spannung. Thatsächlich ist bei gewissen Typen solcher Maschinen ein nahezu konstanter Strom ein fast unvermeidliches Resultat. Sobald die Anzahl der Pole oder Polvorsprünge erheblich vergrössert wird, wird der Luftzwischenraum von grosser Bedeutung. Man hat es in Wirklichkeit mit einer grossen Anzahl sehr kleiner Maschinen zu thun. Ferner ist der scheinbare Widerstand im Anker vorhanden, der durch die hohe Frequenz enorm vergrössert wird. Ebenso wird die magnetische Streuung erleichtert. Wenn drei oder vierhundert alternirende Pole vorhanden sind, ist die Streuung so gross, dass sie praktisch dieselbe ist, als wenn man bei einer zweipoligen Maschine die Pole durch ein Eisenstück verbindet. Allerdings kann man diesem Uebelstande mehr oder weniger dadurch begegnen, dass man ein Feld von überall gleicher Polarität anwendet, man stösst dann aber wieder auf Schwierigkeiten anderer Art. Alles dieses zielt darauf ab, einen konstanten Strom in dem Ankerstromkreis zu unterhalten.

In dieser Beziehung ist es interessant zu bemerken, dass auch heute noch Ingenieure sich über die Herstellung einer Maschine für konstanten Strom wundern, ebenso wie sie es vor einigen Jahren als eine ausserordentliche Leistung zu betrachten pflegten, wenn eine Maschine konstante Klemmenspannung zu halten vermochte. Und doch ist das eine so leicht wie das andere. Man muss nur daran denken, dass bei einem Induktionsapparat irgendwelcher Art, wenn konstante Spannung gefordert wird, die induktive Beziehung zwischen Primär- oder Erregungsstromkreis und Sekundär- oder Ankerstromkreis eine möglichst enge sein muss, während bei einem Apparate für konstanten Strom gerade das Entgegengesetzte erforderlich ist. Ferner muss der Widerstand gegen das Fliessen des Stromes in dem inducirten Stromkreise in dem ersteren Falle so klein wie möglich, in dem letzteren Falle dagegen möglichst gross sein. Ein solcher Widerstand gegen das Fliessen des Stromes kann aber auf mehr als eine Weise hervorgebracht werden. Er kann durch Ohm'schen Widerstand oder durch Selbstinduktion veranlasst sein. Man kann dem inducirten Stromkreis einer Dynamomaschine oder eines Transformators einen so hohen Leitungswiderstand geben, dass man beim Arbeiten mit Apparaten von beträchtlich geringerem Widerstand innerhalb sehr weiter Grenzen einen nahezu konstanten Strom erhält. Ein so hoher Leitungswiderstand involvirt aber einen sehr grossen Effektverlust und ist daher nicht praktisch. Anders bei der Selbstinduktion. Letztere bedeutet nicht nothwendig einen Effektverlust. Daraus folgt, dass man Selbstinduktion anstatt Leitungswiderstand benutzen muss. Es giebt indessen einen Umstand, welcher zu Gunsten dieser Anordnung spricht, und dieser ist,

dass man eine sehr hohe Selbstinduktion auf billige Weise dadurch erhalten kann, dass man eine verhältnissmässig geringe Länge Draht mehr oder weniger vollständig mit Eisen umgiebt, und ferner kann der Effekt dadurch nach Belieben erhöht werden, dass man den Strom rasch wechseln lässt. Die Erfordernisse für konstanten Strom sind demnach, um kurz zu summiren: Schwache magnetische Verbindung zwischen dem inducirten und dem inducirenden Stromkreise, möglichst grosse Selbstinduktion bei möglichst geringem Leitungswiderstande, möglichst schnelle Aenderung des Stromes. Konstante Spannung andererseits erfordert möglichst enge magnetische Verbindung zwischen den Stromkreisen, konstanten inducirten Strom und, wenn möglich, keine Ankerreaktion. Wenn die letzteren Bedingungen bei einer Gleichspannungsmaschine völlig erfüllt werden könnten, so würde ihre Leistungsfähigkeit diejenige einer ursprünglich für konstanten Strom berechneten Maschine viele Male übertreffen. Leider ist der Maschinentypus, bei welchem diese Bedingungen erfüllt werden könnten, nur von geringem praktischen Werth, infolge der geringen erhaltbaren elektromotorischen Kraft und der Schwierigkeiten, welche die Abnahme des Stromes macht.

Mit dem den Erfindern eigenen Instinkt haben die auf dem Gebiete des Bogenlichts thätigen Ingenieure frühzeitig die Erfordernisse einer Maschine für konstanten Strom erkannt. Ihre Bogenlichtmaschinen haben schwache Felder, grosse Anker, mit einer grossen Länge von Kupferdraht und wenigen Kommutatorsegmenten, um grosse Schwankungen in der Stärke der Ströme zu erzeugen und Selbstinduktion ins Spiel zu bringen. Solche Maschinen können innerhalb beträchtlicher Grenzen bei der Variation des Widerstandes des Stromkreises einen praktisch konstanten Strom unterhalten. Ihre Leistung wird natürlich entsprechend vermindert und es wird, wohl in der Absicht, die Leistung nicht zu sehr herabzudrücken, eine einfache Vorrichtung angewendet, um ausnahmsweise Variationen zu kompensiren. Die Undulation des Stromes ist für den kommerciellen Erfolg eines Bogenlichtsystems fast wesentlich. Sie führt in den Stromkreis an Stelle eines grossen Ohm'schen Widerstandes ein Element der Ausgleichung ein, ohne einen grossen Effektverlust zu bedingen, und, was wichtiger ist, sie gestattet die Anwendung von Lampen mit einfachem Bremsring, die bei einem Strom von einer gewissen für jede besondere Lampe am besten geeigneten Anzahl von Stromimpulsen in der Sekunde und bei angemessener Bedienung noch besser reguliren, wie diejenigen Lampen, deren Regulirung durch die feinsten Uhrwerke erfolgt. Diese Entdeckung wurde von mir — leider einige Jahre zu spät — gemacht.

Es ist von kompetenten englischen Elektrikern behauptet worden, dass bei einer Maschine für konstanten Strom oder einem Transformator die Regulirung durch Veränderung der Phase des Sekundärstromes bewirkt wird. Dass diese Ansicht irrthümlich ist, kann leicht gezeigt werden, wenn man an Stelle der Lampen Apparate anwendet, welche Selbstinduktion und Kapacität oder Selbstinduktion und Widerstand, d. h. verzögernde und beschleunigende Komponenten, in solchen Verhältnissen besitzen, dass durch sie die Phase des sekundären Stromes nicht wesentlich beeinflusst wird. Solche Apparate können in beliebiger Anzahl ein- oder ausgeschaltet werden, und doch wird man finden, dass die Regulirung eintritt und ein konstanter Strom unterhalten wird, während die elektromotorische Kraft mit der Anzahl der Apparate variirt. Die Phasenänderung des sekundären Stromes ist einfach eine Folge der Widerstandsänderungen und, obwohl die elektromotorische Gegenkraft des sekundären Stromkreises stets von grösserer oder geringerer Bedeutung ist, so liegt doch die eigentliche Ursache der Regulirung in dem Vorhandensein der oben angeführten Bedingungen. Es muss jedoch bemerkt werden, dass bezüglich der Maschinen die obigen Bemerkungen auf diejenigen Fälle zu beschränken sind, in denen die Maschinen unabhängig erregt werden. Wird die Erregung durch Kommutirung des Ankerstromes bewirkt, dann ist infolge der festen Stellung der Bürsten jede Verschiebung der neutralen Linie von der grössten Bedeutung, und es dürfte mir wohl nicht als Unbescheidenheit ausgelegt werden, wenn ich behaupte, dass ich meines Wissens der erste gewesen bin, welcher Maschinen durch Herstellung einer Art Brücke zwischen einem Punkte des äusseren Stromkreises und dem Kommutator mittels einer dritten Bürste erfolgreich regulirt hat. Sind der Anker und das Feld angemessen proportionirt und die Bürsten in ihre bestimmte Lage gebracht, so wird ein konstanter Strom oder eine konstante Spannung erzeugt, wenn der Durchmesser der Kommutation infolge der verschiedenen Belastungen verschoben wird.

In Verbindung mit Maschinen von so hohen Frequenzen bildet der Kondensator den Gegenstand eines besonders interessanten Studiums. Man kann die elektromotorische Kraft einer solchen Maschine leicht auf das Vier- und Fünffache ihres Werthes bringen durch einfache Einschaltung des Kondensators in den Stromkreis, und ich habe mich stets des Kondensators zum Zwecke der Regulirung bedient, wie dies Blakesley in seinem Buche über Wechselströme andeutet, in welchem er die am häufigsten vorkommenden Probleme über Kondensatoren mit ausgezeichneter Einfachheit und Klarheit behandelt. Die hohe Frequenz gestattet

die Anwendung niedriger Kapacitäten und erleichtert die Untersuchung. Obwohl aber bei den meisten Versuchen das Resultat vorausgesehen werden kann, erscheinen doch einige der beobachteten Phänomene auf den ersten Blick höchst seltsam. Ein Versuch, der vor drei oder vier Monaten mit einer solchen Maschine und einem Kondensator angestellt wurde, mag zur Erläuterung dienen. Es wurde eine Maschine benutzt, die etwa 20000 Wechsel per Sekunde gab. Zwei blanke Drähte von etwa 6 m Länge und 2 mm Durchmesser, die dicht neben einander verliefen, wurden an dem einen Ende mit den Klemmen der Maschine, an dem andern Ende mit einem Kondensator verbunden. Natürlich wurde ein kleiner Transformator ohne Eisenkern angewendet, um die Ablesungen an einem Cardew-Voltmeter machen zu können, das in den sekundären Stromkreis eingeschaltet war. An den Klemmen des Kondensators war die elektromotorische Kraft etwa 120 Volt, und von dort fiel dieselbe allmählich bis zu den Klemmen der Maschine, wo sie circa 65 Volt betrug. Es war, als ob der Kondensator eine Stromquelle und der Leitungs- und Ankerstromkreis einfach ein damit verbundener Widerstand wäre. Ich vermuthete einen Fall der Resonanz, aber ich vermochte nicht den Effekt dadurch zu erhöhen, dass ich die Kapacität sehr sorgfältig und allmählich änderte, oder die Geschwindigkeit der Maschine variirte. Einen Fall reiner Resonanz konnte ich nicht erhalten. Wenn ein Kondensator mit den Klemmen der Maschine verbunden war — die Selbstinduktion des Ankers wurde zuerst in der Maximal- und Minimalstellung bestimmt und dann der Mittelwerth genommen —, so entsprach die Kapacität, welche die höchste elektromotorische Kraft gab, beinahe genau derjenigen, welche der Selbstinduktion bei der bestehenden Frequenz das Gleichgewicht hielt. Wurde die Kapacität vermehrt oder vermindert, so fiel die elektromotorische Kraft, wie erwartet wurde.

Bei so hohen Frequenzen, wie die oben erwähnten, sind die Kondensatorwirkungen von enormer Wichtigkeit. Der Kondensator wird ein höchst wirksamer Apparat, der beträchtliche Energie zu übertragen vermag."

In einem Anhange zu diesem Buche findet man eine Beschreibung des Tesla'schen Oscillators, von welchem sein Erfinder glaubt, dass er ihm ausser andern grossen Vortheilen die erforderliche hohe Frequenz liefern und zugleich den Beschwerlichkeiten abhelfen wird, welche mit Generatoren von der am Anfang dieses Kapitels beschriebenen Art verknüpft sind.

---

30. Kapitel.

Apparate zur Erzeugung von Wechselströmen mittels elektrostatischer Induktion.*)

„Vor etwa anderthalb Jahren, während ich kurze Zeit hindurch mit dem Studium der Wechselströme beschäftigt war, kam mir der Gedanke, dass man solche Ströme dadurch erhalten könnte, dass man mit Elektricität geladene Flächen in nächster Nähe von Leitern rotiren lässt. Demgemäss ersann ich verschiedene Formen von Versuchsapparaten, von denen zwei in den beigefügten Abbildungen dargestellt sind.

Bei dem in Fig. 208 dargestellten Apparate ist A ein mit Schellack überzogener Ring aus trockenem harten Holz, der an seiner Innenseite mit zwei Systemen von Stanniolbelegungen a und b versehen ist, von denen sowohl die mit a wie die mit b bezeichneten Belegungen unter sich verbunden sind. Diese beiden Gruppen von Belegungen sind mit zwei Klemmen T verbunden. Der Deutlichkeit wegen sind nur einige wenige Belegungen dargestellt. Innerhalb des Ringes A und ganz dicht an denselben heranreichend ist ein Cylinder B drehbar angeordnet, der ebenfalls aus trockenem, schellackirten harten Holz besteht und mit zwei ähnlichen Systemen von Belegungen $a' b'$ versehen ist, von denen sämmtliche Belegungen a' an den einen und sämmtliche Belegungen b' an den andern der mit + und — bezeichneten Ringe angeschlossen sind. Diese beiden Systeme a' und b' sind mit einer Holtz'schen oder Wimshurst'schen Maschine auf ein hohes Potential geladen und können

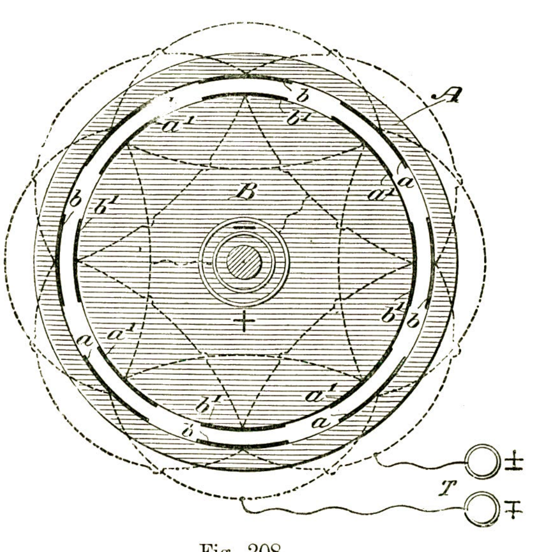


Fig. 208.

*) Artikel von Tesla im „Electrical Engineer", N. Y., 6. Mai 1891.

mit einer Flasche von gewisser Kapacität verbunden werden. Die Innenseite des Ringes A ist mit Glimmer belegt, um die Induktion zu verstärken und auch, um die Anwendung höherer Spannungen zu ermöglichen.

Wird der Cylinder B mit den geladenen Belegungen rotirt, so wird ein mit den Klemmen T verbundener Stromkreis von Wechselströmen durchflossen.

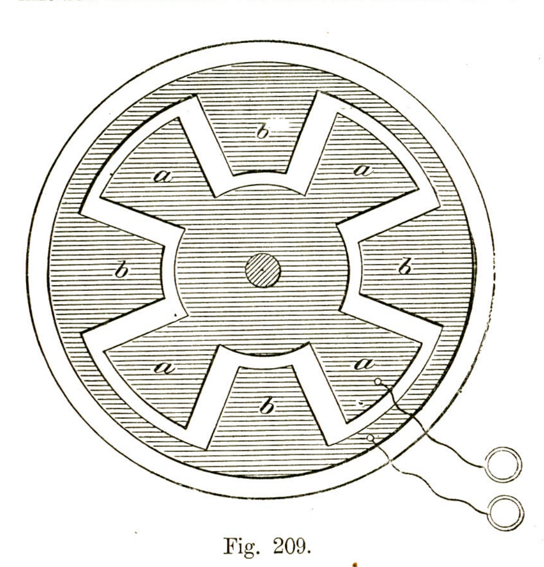


Fig. 209.

Eine andere Form des Apparates ist in Fig. 209 abgebildet. Bei diesem Apparate sind die beiden Systeme von Stanniolbelegungen auf eine Ebonitplatte aufgeklebt und ferner ist eine ähnliche Platte vorgesehen, welche rotirt wird und deren Belegungen elektrisch geladen werden.

Die Leistung eines solchen Apparates ist sehr gering, indessen kann man mit ihnen einige der den Wechselströmen von kurzer Periode eigenthümlichen Wirkungen beobachten. Allerdings können die Wirkungen nicht mit denen verglichen werden, die mittels einer von einer Wechselstrommaschine hoher Frequenz betriebenen Induktionsspule erhalten werden können und von denen einige von mir kürzlich beschrieben wurden."

---

31. Kapitel.

Massage mit Strömen von hoher Frequenz.*)

„Die vorliegende kurze Mittheilung wird, hoffe ich, nicht als ein Versuch meinerseits gedeutet werden, mich als „Wunderdoctor" aufzuspielen, da ein ernsthafter Forscher nichts mehr verabscheuen kann, als den Missbrauch und den Schwindel, der mit der Elektricität getrieben wird und von dem wir alltäglich Zeuge sind. Meine Bemer-

*) Artikel von Tesla im „Electrical Engineer" N. Y. vom 23. December 1891.

kungen sind vielmehr durch das lebhafte Interesse veranlasst, welches hervorragende ärztliche Praktiker an jedem wirklichen Fortschritt der elektrischen Forschung an den Tag legen. Der Fortschritt in den letzten Jahren ist so gross gewesen, dass jeder Elektriker und Elektroingenieur davon überzeugt ist, dass sich mit Hülfe der Elektricität viele Dinge vollbringen lassen werden, welche früher bei dem damaligen Stande unseres Wissens unmöglich schienen. Kein Wunder, dass dem Fortschritt huldigende Aerzte auch in ihr ein Mittel zu finden hoffen, welches ihnen bei neuen Heilprocessen ein mächtiges Werkzeug und eine kräftige Hülfe sein wird. Seitdem ich die Ehre hatte, dem American Institute of Electrical Engineers einige Resultate betreffend die Nutzbarmachung der Wechselströme von hoher Spannung vorzutragen, habe ich viele Briefe von berühmten Aerzten erhalten, die mich über die physikalischen Wirkungen derartiger Ströme von hoher Frequenz befragten. Es möge daran erinnert werden, dass ich damals zeigte, dass ein in der Luft vollkommen isolirter Körper durch einfache Verbindung desselben mit einer Elektricitätsquelle von rasch wechselnder hoher Spannung erhitzt wurde. Die Erwärmung rührt in diesem Falle höchstwahrscheinlich von dem Bombardement des Körpers durch die Luft oder möglicher Weise irgend ein anderes Mediums her, welches von molekularem oder atomischem Gefüge ist und dessen Vorhandensein unserer Kenntniss bisher entgangen ist — denn meiner Ansicht nach muss die eigentliche Aetherstrahlung bei derartigen Frequenzen wie einigen Millionen in der Sekunde sehr gering sein. Dieser Körper kann ein guter oder auch ein sehr schlechter Leiter der Elektricität sein, ohne dass sich im Resultat etwas erhebliches änderte. Der menschliche Körper ist in solchem Falle ein guter Leiter, und wenn eine in einem Zimmer oder sonstwo isolirte Person mit einer solchen Stromquelle von rasch wechselnder hoher Spannung in Berührung gebracht wird, so wird die Haut durch das Bombardement erwärmt. Es hängt bloss von den Dimensionen und dem Charakter des Apparates ab, um jeden gewünschten Grad der Erwärmung hervorzubringen.

Es ist mir nun der Gedanke gekommen, ob es nicht einem geschickten Arzte möglich sein möchte, mit Hülfe eines solchen passend konstruirten Apparates verschiedene Arten von Krankheiten erfolgreich zu behandeln. Die Erwärmung würde natürlich auf der Oberfläche d. h. auf der Haut stattfinden und würde eintreten, mag nun die Person, an der die Operation vorgenommen wird, im Bett liegen oder im Zimmer spazieren gehen, oder mag sie in dicken Kleidern stecken oder nackt sein. In der That ist es, um es drastisch auszusprechen, denkbar, dass

eine völlig nackte Person am Nordpol sich in dieser Weise angenehm warm halten könnte.

Ohne für alle Resultate einstehen zu wollen, die natürlich durch Erfahrung und Beobachtung festgestellt werden müssen, kann ich doch mindestens die Thatsache verbürgen, dass durch Anwendung dieses Verfahrens, nämlich dass man den menschlichen Körper dem Bombardement von Wechselströmen von hoher Spannung und Frequenz, mit denen ich mich lange beschäftigt habe, aussetzt, eine Erwärmung stattfindet. Man darf mit Recht erwarten, dass einige von den neuen Wirkungen völlig verschieden sein werden von denen, welche man mit den altbekannten und allgemein angewendeten therapeutischen Methoden erhalten konnte. Ob sie alle nützlich sein würden oder nicht, bliebe zu zeigen.“

---

32. Kapitel.

Elektrische Entladung in Vakuumröhren.*)

„Im „Electrical Engineer“ vom 10. Juni habe ich die Beschreibung einiger Versuche von Prof. J. J. Thomson über die „elektrische Entladung in Vakuumröhren“ gelesen und in der Nummer vom 24. Juni beschreibt Prof. Elihu Thomson einen Versuch derselben Art. Die Grundidee bei diesen Versuchen ist, in einer — am besten elektrodenlosen — Vakuumröhre mittels elektromagnetischer Induktion eine elektromotorische Kraft zu erzeugen und die Röhre auf diese Weise zu erregen.

Nach meiner Auffassung der Sache sollte ich meinen, dass jedem Experimentator, welcher das vorliegende Problem sorgfältig studirt und eine Lösung desselben zu finden versucht hat, dieser Gedanke so natürlich kommen musste, wie beispielsweise der Gedanke, die Stanniolbelegung einer Leydener Flasche durch ein verdünntes Gas zu ersetzen und in dem auf solche Weise erhaltenen Kondensator das Leuchten durch wiederholte Ladung und Entladung desselben zu erregen. Da ein solcher Gedanke sich von selbst ergiebt, wird das ganze Verdienst an Untersuchungen dieser Art von der Vollständigkeit des Studiums des Gegenstandes und der Richtigkeit der Beobachtungen abhängen. Die folgenden Zeilen sind nicht dem Wunsche meinerseits entsprungen, auch zu denen gezählt zu werden, welche ähnliche Versuche ausgeführt haben, sondern

*) Artikel von Tesla im „Electrical Engineer“ N. Y., vom 1. Juli 1891.

vielmehr dem Wunsche, anderen Experimentatoren nützlich zu sein, indem ich auf gewisse Eigenthümlichkeiten der beobachteten Erscheinungen aufmerksam mache, welche, allem Anschein nach, von Professor J. J. Thomson nicht bemerkt worden sind, der jedoch bei seinen Untersuchungen systematisch vorgegangen zu sein scheint und der erste gewesen ist, der seine Resultate bekannt machte. Diese von mir beobachteten Eigenthümlichkeiten scheinen im Widerspruch zu stehen mit den Ansichten von Prof. J. J. Thomson und setzen die Erscheinungen in ein anderes Licht.

Meine Untersuchungen nach dieser Richtung beschäftigten mich hauptsächlich während des Winters und Frühjahrs des vergangenen Jahres. In dieser Zeit wurden viele verschiedene Versuche angestellt und bei dem Gedankenaustausch mit Herrn Alfred S. Brown von der Western Union Telegraph Company über diesen Gegenstand kamen mannigfache verschiedene Einrichtungen zur Sprache, die von mir praktisch ausgeführt wurden. Fig. 210 kann als Beispiel einer der vielen Formen der benutzten Apparate dienen. Der Apparat bestand aus einer weiten Glasröhre, die an einem Ende zugeschmolzen war und in eine gewöhnliche Glühlampenbirne hineinragte. Der Primärkreis, welcher in der Regel aus einigen Windungen dicken gut isolirten Kupferblechs bestand, war in die Röhre eingeschlossen, während der innere Raum der Glasbirne den Sekundärkreis bildete. Zu dieser Form des Apparates war ich nach einigen Versuchen gekommen und dieselbe wurde von mir hauptsächlich deswegen benutzt, um eine polirte reflektirende Fläche im Innern der Röhre anbringen zu können, zu welchem Zwecke die letzte Windung des Primärkreises mit einem dünnen Silberblech bekleidet war. Bei keiner der angewendeten Apparatformen zeigte sich irgend welche besondere Schwierigkeit, einen leuchtenden Kreis oder Cylinder in der Nähe der Primärspule zu erregen.

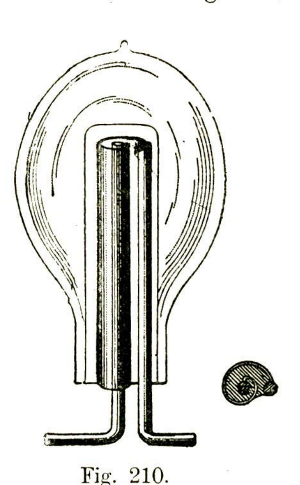


Fig. 210.

Was die Anzahl der Windungen anbelangt, so verstehe ich nicht recht, warum Prof. J. J. Thomson der Ansicht ist, dass wenige Windungen „völlig ausreichend" sind; damit ich ihm aber nicht eine Meinung imputire, die er vielleicht nicht hat, will ich hinzufügen, dass ich diesen Eindruck beim Lesen der publicirten Auszüge aus seinem Vortrage gewonnen habe. Offenbar ist die Anzahl der Windungen, welche in jedem Falle die besten Resultate giebt, von den Dimensionen des

Apparates abhängig und es würde, wenn nicht andere Erwägungen maassgebend wären, eine Windung stets das beste Resultat geben.

Ich habe gefunden, dass es besser ist, bei diesen Versuchen eine Wechselstrommaschine, die nur eine mässige Anzahl von Wechseln per Sekunde giebt, zur Erregung der Induktionsspule, welche zur Ladung der durch den Primärkreis — siehe Fig. 211 — entladenden Leydener Flasche dient, zu benutzen, da in solchem Falle, bevor die disruptive Entladung stattfindet, die Röhre oder Birne etwas erregt und die Bildung des leuchtenden Kreises entschieden erleichtert wird. Doch habe ich bei einigen Versuchen auch eine Wimshurst'sche Maschine benutzt.

Prof. J. J. Thomson's Ansicht über die in Rede stehenden Erscheinungen scheint zu sein, dass sie vollständig von elektromagnetischer Wirkung herrühren. Ich war ehedem derselben Meinung, aber nach sorgfältiger Untersuchung des Gegenstandes bin ich zu der Ueberzeugung gekommen, dass sie mehr elektrostatischer Natur sind. Man muss sich erinnern, dass man es bei diesen Versuchen mit Primärströmen von enormer Frequenz oder Wechselzahl und von hoher Spannung zu thun hat, dass der sekundäre Leiter aus einem verdünnten Gase besteht und dass unter solchen Verhältnissen elektrostatische Wirkungen eine grosse Rolle spielen müssen.

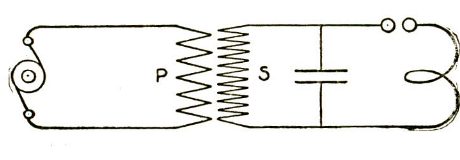


Fig. 211.

Zur Unterstützung meiner Ansicht will ich einige von mir ausgeführte Versuche beschreiben. Um das Leuchten in der Röhre zu erregen, ist es nicht absolut nothwendig, dass der Leiter geschlossen ist. Wenn z. B eine gewöhnliche evakuirte Röhre (am besten von grossem Durchmesser) von einer als primärer Leiter dienenden Spirale aus dickem Kupferdraht umgeben ist, so kann in der Röhre eine schwach leuchtende Spirale inducirt werden, wie aus Fig. 212 ersichtlich ist. Bei einem dieser Versuche wurde eine merkwürdige Erscheinung beobachtet; es wurden nämlich zwei intensiv leuchtende Kreise, und zwar jeder derselben dicht an einer Windung der primären Spirale, innerhalb der Röhre gebildet, und ich schrieb diese Erscheinung dem Vorhandensein von Knoten in dem primären Leiter zu. Die Kreise waren durch eine schwach leuchtende Spirale, parallel zu der primären und ganz dicht an derselben verlaufend, verbunden. Um diese Wirkung hervorzubringen, musste ich die Flasche aufs Aeusserste anstrengen. Die Windungen der Spirale suchen sich zu schliessen und bilden Kreise; dies wäre aber

natürlich zu erwarten gewesen und deutet nicht nothwendig eine elektromagnetische Wirkung an, während die Thatsache, dass ein Glühen längs des Primärleiters in Form einer offenen Spirale hervorgebracht werden kann, für eine elektrostatische Wirkung spricht.

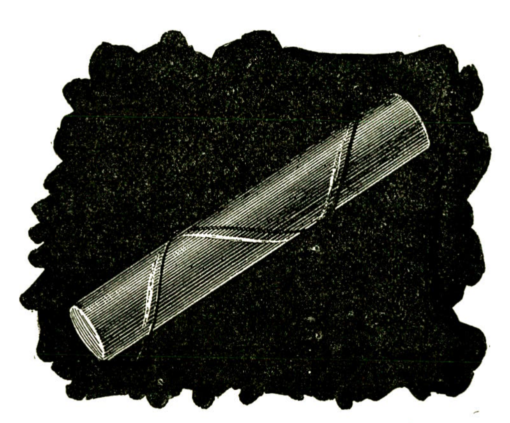


Fig. 212.

Benützt man Dr. Lodge's zweifachen Schliessungsbogen, so tritt die elektrostatische Wirkung ebenfalls klar zu Tage. Die Anordnung ist in Fig. 213 dargestellt. Bei seinem Versuche wurden zwei hohle evakuirte Röhren *HH* über die Drähte des zweiten Schliessungsbogens gestülpt, und nach der Entladung der Flasche in der üblichen Weise wurde in den Röhren eine Lichterscheinung erregt.

Ein anderer Versuch, der angestellt wurde, ist in Fig. 214 erläutert. In diesem Falle wurde eine gewöhnliche Glühlampenbirne mit einer oder zwei Windungen dicken Kupferdrahts *P* umgeben und der leuchtende Kreis *L* in der Birne durch Entladung der Flasche durch den Primärkreis hindurch erregt. Die Lampenbirne war mit einer Stanniolbelegung auf der dem Primärkreise entgegengesetzten Seite versehen und jedesmal, wenn die Stanniolbelegung mit der Erde oder mit einem Gegenstande von grosser Oberfläche verbunden wurde, wurde das Leuchten des Kreises erheblich verstärkt. Dies rührte offenbar von elektrostatischer Wirkung her.

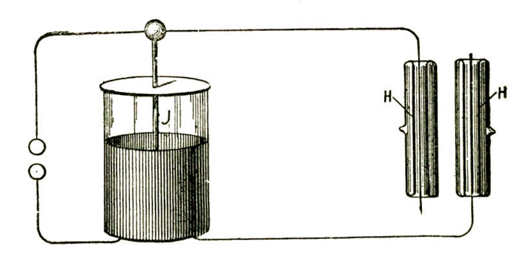


Fig. 213.

Bei anderen Versuchen habe ich beobachtet, dass, wenn der primäre Leiter das Glas berührt, der leuchtende Kreis leichter hervorgebracht wird und schärfer begrenzt ist, ich habe jedoch nicht bemerkt, dass, allgemein gesprochen, die inducirten Kreise sehr scharf begrenzt waren, wie Prof. J. J. Thomson beobachtet hat; im Gegentheil waren sie bei

meinen Versuchen verschwommen und häufig war die ganze Lampenbirne oder Röhre erleuchtet, und in einem Falle habe ich ein intensiv purpurrothes Glühen beobachtet, auf welches Prof. J. J. Thomson hinweist. Die Kreise befanden sich jedoch stets ganz dicht an dem primären Leiter und entstanden erheblich leichter, wenn der letztere sich ganz nahe am Glase befand, viel leichter als man hätte erwarten können, wenn man annimmt, dass die Wirkung elektromagnetischer Natur sei und wenn man die Entfernung in Betracht zieht. Diese Thatsachen sprechen aber für eine elektrostatische Wirkung.

Ferner habe ich beobachtet, dass ein Bombardement der Moleküle in der Ebene des leuchtenden Kreises rechtwinklig zum Glase — wenn man annimmt, dass der Kreis in der Ebene des Primärleiters liege — stattfindet, und zwar rührt dieses Bombardement offenbar von der schnellen Erhitzung des Glases in der Nähe des primären Leiters her. Wäre das Bombardement nicht rechtwinklig zum Glase, so könnte die Erwärmung nicht so rasch erfolgen. Wäre es eine kreisförmige Bewegung der den leuchtenden Kreis bildenden Moleküle, so würde man dies, wie ich mir dachte, dadurch nachweisen können, dass man in die Röhre oder Birne radial zu dem Kreise eine dünne mit einem phosphorescirenden Stoffe bedeckte Glimmerplatte und tangential zu dem Kreise eine andere solche Platte setzt. Wenn sich die Moleküle in kreisförmigen Bahnen bewegten, so würde die erstere Platte stärker phosphoresciren. Aus Mangel an Zeit war ich jedoch nicht in der Lage, den Versuch auszuführen.

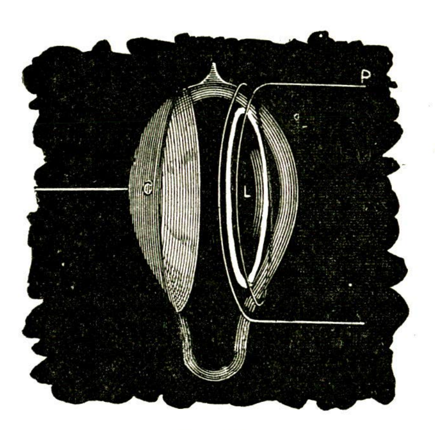


Fig. 214.

Eine andere von mir gemachte Beobachtung besteht darin, dass, wenn die specifische Induktionskapacität des Mediums zwischen dem primären und sekundären Leiter vergrössert wird, die Induktionswirkung zunimmt. Dies ist in Fig. 215 skizzirt. In diesem Falle wurde die Lichterscheinung in einer evakuirten Röhre oder Birne B hervorgerufen und ein Glascylinder T zwischen dem primären Leiter und der Birne über letztere gestülpt, wobei dann die angedeutete Wirkung beobachtet wurde. Wäre die Wirkung eine rein elektromagnetische, so würde möglicher Weise keine Aenderung beobachtet worden sein.

Ich habe ferner bemerkt, dass, wenn eine Lampenbirne von einem in sich geschlossenen und in der Ebene des Primärleiters liegenden Draht umgeben wird, die Bildung des leuchtenden Kreises innerhalb der Birne dadurch nicht verhindert wird. Wenn aber anstatt des Drahtes ein breiter Stanniolstreifen auf die Birne aufgeklebt wurde, so wurde die Bildung des leuchtenden Bandes verhindert, weil dann die Wirkung über eine grössere Fläche vertheilt ist. Die Wirkung des geschlossenen Stanniolstreifens ist zweifellos elektrostatischer Natur, da derselbe einen viel grösseren Widerstand als der geschlossene Draht darbietet und daher einen viel kleineren elektromagnetischen Effekt hervorbringt.

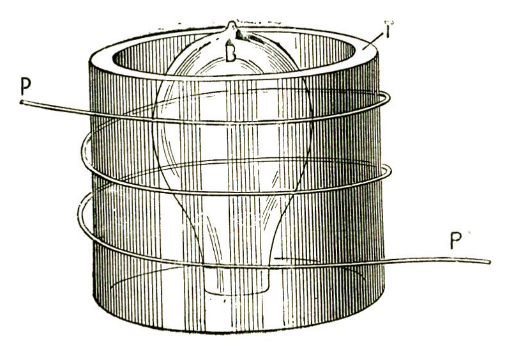


Fig. 215.

Einige der Versuche von Prof. J. J. Thomson scheinen ebenfalls auf eine gewisse elektrostatische Wirkung hinzudeuten. Z. B. möchte ich bei dem Versuch mit der in eine glockenförmige Flasche eingeschlossenen Glasbirne glauben, dass, wenn die letztere so weit evakuirt wird, dass das eingeschlossene Gas seine grösste Leitungsfähigkeit erreicht, die Bildung des Kreises in der Birne und der Flasche verhindert wird, weil der den Primärleiter umgebende Raum gut leitend ist; wird die Flasche noch weiter evakuirt, so nimmt die Leitungsfähigkeit des Raumes um den primären Leiter herum ab und die Kreise treten nothwendig zuerst in der Flasche wieder auf, da das verdünnte Gas dem primären Leiter näher liegt. Wäre aber die Induktionswirkung sehr stark, so würden sie wahrscheinlich in der Birne ebenfalls hervortreten. Wenn jedoch die Flasche bis zum höchstmöglichen Grade evakuirt ist, so würden sie sehr wahrscheinlich nur in der Glasbirne auftreten, vorausgesetzt nämlich, dass der völlig luftleere Raum nichtleitend ist. Unter der Annahme, dass bei diesen Erscheinungen elektrostatische Wirkungen in Betracht kommen, finden wir es leicht erklärlich, warum die Einführung des Quecksilbers oder die Erwärmung der Glasbirne die Bildung des Lichtstreifens verhindert oder das Nachglühen abkürzt, und auch, weshalb in gewissen Fällen ein Platindraht die Erregung der Röhre verhindern kann. Nichtsdestoweniger dürften einige der Versuche von Prof. J. J. Thomson auf eine elektromagnetische Wirkung hindeuten. Ich kann hinzufügen,

dass ich bei einem meiner Versuche, bei welchem nach der Torricelli'schen Methode ein Vakuum erzeugt wurde, nicht im Stande war, den Lichtstreifen hervorzubringen, indessen konnte hieran der benutzte schwache Erregerstrom schuld sein.

Mein Hauptgrund ist folgender: Ich habe experimentell bewiesen, dass, wenn dieselbe Entladung, welche, durch den primären Stromkreis gesandt, kaum zur Erregung eines Lichtstreifens in der Glasbirne ausreicht, so geleitet wird, dass sie die elektrostatische Induktionswirkung erhöht — nämlich durch Transformation nach oben — eine evakuirte Röhre ohne Elektroden in einer Entfernung von mehreren Fuss erregt werden kann."

Einige Versuche über die elektrische Entladung in Vakuumröhren.*)

Von Prof. J. J. Thomson, M. A., F. R. S.

Die Erscheinungen von Vakuumentladungen werden bedeutend vereinfacht, wenn die ganze Entladungsstrecke gasförmig ist, da die Komplikation des dunklen die negative Elektrode umgebenden Raumes und die in der Regel bei gewöhnlichen Vakuumröhren beobachteten Schichtenbildungen fehlen. Die Erzeugung von Entladungen in elektrodenlosen Röhren war jedoch nicht leicht zu bewerkstelligen, da das einzig anwendbare Verfahren, eine elektromotorische Kraft in dem Entladungsstromkreise hervorzubringen, auf der elektromagnetischen Induktion beruht. Die gewöhnlichen Methoden zur Erzeugung veränderlicher Induktion waren werthlos und man musste die oscillatorische Entladung einer Leydener Flasche zu Hülfe nehmen, welche die beiden wesentlichen Eigenschaften eines Stromes, dessen Maximalwerth sehr hoch und dessen Wechselgeschwindigkeit ungeheuer gross ist, in sich vereinigt. Die Entladungsstromkeise, welche die Form von Glasbirnen oder von spulenförmig gebogenen Röhren besitzen können, wurden ganz dicht an mit Quecksilber gefüllte Glasröhren, welche die Bahn für die oscillatorische Entladung bildeten, herangebracht. Die einzelnen Theile entsprachen demnach den Windungen einer Induktionsspule, indem die Vakuumröhren den sekundären, und die mit Quecksilber gefüllten Röhren den primären Stromkreis bildeten. Bei einem solchen Apparate braucht die Leydener Flasche nicht gross zu sein, und weder Primär- noch Sekundärkreis brauchen viele Windungen zu haben, da dies die Selbstinduktion des ersteren vergrössern und die Entladungsstrecke in dem letzteren verlängern würde. Die Vergrösserung der Selbstinduktion des Primärkreises reducirt die in dem Sekundärkreise inducirte elektromotorische Kraft, während die Verlängerung des Sekundärkreises die elektromotorische Kraft per Längeneinheit nicht vergrössert. Zwei oder drei Windungen in jedem Stromkreise, wie in Fig. 216 dargestellt, erwiesen sich als völlig ausreichend und bei der Entladung der Leydener Flasche zwischen zwei blank polirten Knöpfen im primären Stromkreise konnte man ein deutlich gleichförmiges Lichtband um den Sekundärkreis herumgehen sehen. Es wurde dann eine evakuirte Lampenbirne, Fig. 217, die Spuren von Sauerstoffgas enthielt, in eine aus drei Windungen bestehende primäre Spirale

*) Auszug aus einem Vortrage vor der Physical Society in London.

gesetzt, und beim Uebergang der Entladung der Flasche zeigte sich innerhalb der Glasbirne ganz dicht am primären Stromkreise ein Lichtkreis, der von einem purpurnen Glühen, das eine Sekunde oder länger dauerte, begleitet war. Bei Erwärmung der Lampenbirne nahm die Dauer des Glühens bedeutend ab und durch die Annäherung eines Elektromagneten konnte dasselbe augenblicklich ausgelöscht werden. Eine andere von einer Primärspule umgebene evakuirte Glasbirne war in einer glockenförmigen Flasche enthalten (Fig. 218) und wenn der Druck der Luft in der Flasche etwa gleich dem der Atmosphäre war, so trat die sekundäre Entladung in der Glasbirne in gewöhnlicher Weise ein. Bei der Evakuirung der Flasche jedoch wurde die Lichtentladung schwächer und es wurde ein Punkt erreicht, bei welchem keine sekundäre Entladung mehr sichtbar war. Bei weiterer Evakuirung der Flasche erschien die sekundäre Entladung ausserhalb der Glasbirne. Die Thatsache,

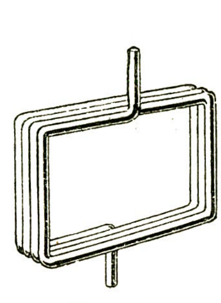


Fig. 216.

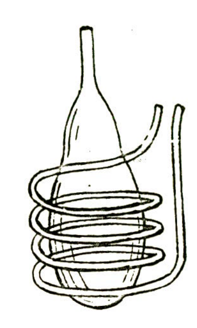


Fig. 217.

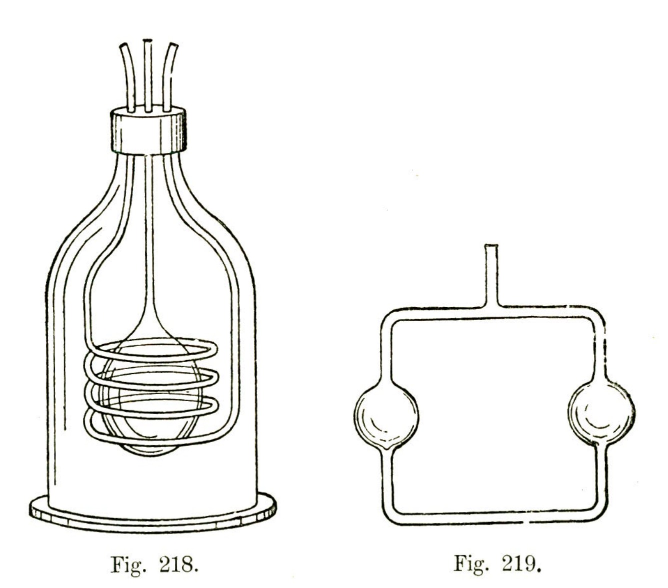


Fig. 218. Fig. 219.

dass keine Lichtentladung, weder in der Glasbirne noch in der Flasche, erhalten wurde, vermochte der Verfasser nur durch zwei Annahmen zu erklären, nämlich, dass unter den damals bestehenden Verhältnissen die specifische Induktionskapacität des Gases sehr gross war, oder dass eine Entladung ohne

Lichtentwickelung erfolgte. Der Verfasser hatte auch beobachtet, dass die Leitungsfähigkeit einer Vakuumröhre ohne Elektroden bei Verminderung des Luftdruckes bis zu einem gewissen Punkte zunahm und alsdann wieder abnahm, woraus ersichtlich ist, dass der hohe Widerstand eines nahezu vollkommenen Vakuums durchaus nicht von dem Vorhandensein der Elektroden herrührt. Eine Eigenthümlichkeit der Entladungen war ihre lokale Beschaffenheit, indem die Lichtringe weit schärfer begrenzt waren, als zu erwarten war. Sie liessen sich auch am leichtesten hervorbringen, wenn die Ketten der Moleküle in der Entladung alle von der nämlichen Art waren. Beispielsweise konnte eine Entladung leicht durch eine mehrere Fuss lange Röhre hindurchgesandt werden, aber die Einführung einer kleinen Quecksilberkugel in die Röhre verhinderte die Entladung, obwohl die Leitungsfähigkeit des Quecksilbers viel grösser war als die des Vakuums. In einigen Fällen wurde beobachtet, dass ein sehr dünner Draht, der in eine Röhre an der vom primären Stromkreise abgelegenen Seite hineingebracht wurde, eine leuchtende Entladung in dieser Röhre verhinderte.

Fig. 219 zeigt eine evakuirte sekundäre Spule, welche aus einer einzigen birnenförmige Ausbuchtungen enthaltenden Schleife gebildet war; die Entladung erfolgte längs der inneren Seite der Birnen, wenn die Primärspulen sich innerhalb des sekundären Kreises befanden.

„Im „Electrical Engineer“ vom 12. August finde ich*) einige Bemerkungen von Prof. J. J. Thomson, welche ursprünglich im Londoner „Electrician“ erschienen sind und die zu einigen von mir in der Nummer vom 1. Juli beschriebenen Versuchen in Beziehung stehen.

Ich habe durchaus nicht, wie Prof. J. J. Thomson zu glauben scheint, die von ihm vertretene Ansicht bezüglich der Ursache der fraglichen Erscheinungen missverstanden, bin jedoch der Meinung gewesen, dass sowohl bei seinen wie bei meinen eigenen Versuchen elektrostatische Wirkungen von erheblicher Bedeutung seien. Aus der kurzen Beschreibung seiner Versuche ging nicht mit genügender Deutlichkeit hervor, ob er alle möglichen Vorsichtsmaassregeln getroffen hatte, um diese Wirkungen auszuschliessen. Ich zweifelte nicht, dass das Leuchten in einer geschlossenen Röhre erregt werden könnte, wenn elektrostatische Wirkung völlig ausgeschlossen ist. In der That vermuthete ich im Anfang selbst eine rein elektrodynamische Wirkung und glaubte, sie erhalten zu haben. Viele zu jener Zeit angestellte Versuche bewiesen mir jedoch, dass die elektrostatischen Wirkungen im Allgemeinen von weit grösserer Bedeutung waren und eine befriedigendere Erklärung der meisten der beobachteten Erscheinungen zuliessen.

Bei Anwendung des Wortes „elektrostatisch“ hatte ich mehr die Natur der Wirkung als einen stationären Zustand im Sinne, welches die gewöhnliche Bedeutung dieses Wortes ist. Um mich deutlicher auszu-

*) Artikel von Tesla im „Electrical Engineer“, N. Y., 26. August 1891.

drücken, will ich annehmen, dass in die Nähe einer geschlossenen evakuirten Röhre eine kleine zu sehr hohem Potential geladene Kugel gesetzt werde. Die Kugel wird auf die Röhre inducirend wirken und in derselben durch Vertheilung der Elektricität unzweifelhaft (falls das Potential genügend hoch ist) ein Leuchten hervorbringen, bis ein dauernder Zustand erreicht ist. Unter der Annahme, dass die Röhre vollkommen isolirt ist, würde nur ein augenblickliches Aufleuchten während des Vertheilungsaktes stattfinden. Dies könnte einfach von elektrostatischer Wirkung herrühren.

Nun nehme man aber an, dass die geladene Kugel in kurzen Zwischenräumen mit grosser Geschwindigkeit an der evakuirten Röhre entlang bewegt werde. Die Röhre würde dann dauernd erregt werden, da die sich bewegende Kugel eine beständige Neuvertheilung der Elektricität und Zusammenstösse der Moleküle des verdünnten Gases verursachen würde. Wir würden es immer noch mit einer elektrostatischen Wirkung zu thun haben und daneben würde eine elektrodynamische Wirkung beobachtet werden. Wenn es sich aber herausstellte, dass beispielsweise die erzeugte Wirkung mehr von der specifischen Induktionskapacität als von der magnetischen Permeabilität des Mediums abhinge — was sicher bei unvergleichlich geringeren Geschwindigkeiten als derjenigen des Lichtes der Fall sein würde — so, glaube ich, würde es gerechtfertigt sein zu sagen, dass die hervorgebrachte Wirkung mehr elektrostatischer Natur ist. Ich will damit jedoch nicht sagen, dass im Falle der Entladung einer Leydener Flasche durch die Primärspule ein analoger Zustand herrscht, aber ich glaube, dass eine solche Wirkung wünschenswerth sein würde.

Es ist im Sinne des obigen Beispiels, dass ich die Worte „mehr elektrostatischer Natur“ benutzte, den Einfluss von Körpern von hoher specifischer Induktionskapacität untersuchte und z. B. die Bedeutung der Qualität des Glases, aus welchem die Röhre hergestellt ist, beobachtete. Ich habe auch den Einfluss eines Mediums von hoher Permeabilität durch Anwendung von Sauerstoffgas festzustellen gesucht. Aus einer oberflächlichen Schätzung ergab sich, dass eine Sauerstoffröhre, unter ähnlichen Verhältnissen erregt — d. h. soweit dies festgestellt werden konnte —, mehr Licht liefert; dies kann aber natürlich von vielen Ursachen herrühren.

Ohne im mindesten zu zweifeln, dass bei der von Prof. J. J. Thomson angewendeten Sorgfalt und Vorsicht die erregte Lichterscheinung allein von elektrodynamischer Wirkung herrührt, möchte ich doch bemerken, dass ich bei vielen Versuchen merkwürdige Beispiele der Wirkungslosig-

keit von Schirmen beobachtet und ferner gefunden habe, dass die Elektrisirung durch die Luft oft von sehr grosser Bedeutung ist und in gewissen Fällen die Erregung der Röhre bestimmen kann.

In seiner ursprünglichen Mittheilung an „Electrician" weist Prof. J. J. Thomson auf die Thatsache hin, dass das Leuchten in einer Röhre in der Nähe eines Drahtes, durch welche hindurch eine Leydener Flasche entladen wurde, von Hittorf beobachtet worden ist. Ich meine, dass die erwähnte schwache Lichtwirkung von vielen Experimentatoren bemerkt worden ist, in meinen Versuchen aber waren die Wirkungen weit kräftiger als die, welche gewöhnlich wahrgenommen wurden."

Die citirte Mittheilung lautet folgendermassen:*)

„Herr Tesla scheint die von ihm beobachteten Wirkungen der elektrostatischen Wirkung zuzuschreiben und nach der Beschreibung, die er von der bei Ausführung seiner Versuche befolgten Methode giebt, hege ich keinen Zweifel, dass in ihnen elektrostatische Wirkung eine sehr wichtige Rolle spielt. Er scheint jedoch meine Ansicht hinsichtlich der Ursache dieser Entladungen missverstanden zu haben. Ich behauptete nicht, wie er annimmt, dass das Leuchten in elektrodenlosen Röhren nicht durch elektrostatische Wirkung hervorgebracht werden könne, sondern dass dasselbe auch erzeugt werden könne, wenn diese Wirkung ausgeschlossen ist. Thatsächlich ist es sehr viel leichter, die Lichterscheinung hervorzubringen, wenn diese elektrostatischen Wirkungen vorhanden, als wenn sie nicht vorhanden sind. Zur Illustrirung dessen kann ich erwähnen, dass der erste mit der Entladung einer Leydener Flasche angestellte Versuch die Lichterscheinung in der Röhre hervorbrachte, aber erst nach sechs Wochen lang fortgesetzten Versuchen war ich im Stande, in der evakuirten Röhre eine Entladung hervorzubringen, die meiner Ueberzeugung nach von der gewöhnlich so genannten elektrodynamischen Wirkung herrührte. Es ist zweckmässig, eine klare Vorstellung von dem zu haben, was wir unter elektrostatischer Wirkung verstehen. Wenn vor der Entladung der Flasche die Primärspule auf ein hohes Potential gebracht wird, so wird dieselbe über das Glas der Röhre hin eine Vertheilung der Elektricität induciren. Wenn das Potential der Primärspule plötzlich fällt, so wird diese Elektrisirung sich wieder vertheilen und kann durch das verdünnte Gas hindurchgehen und so eine Lichtwirkung erzeugen. Während die Entladung der Flasche vor sich geht, ist es schwierig und vom theoretischen Standpunkte nicht wünschenswerth, die Wirkung in Theile zu zerlegen, von denen der eine elektrostatisch, der andere elektromagnetisch genannt wird; was wir beweisen können, ist, dass in diesem Falle die Entladung keine solche ist, wie sie durch elektromotorische, aus einer Potentialfunktion abgeleitete Kräfte hervorgebracht werden würde. Bei meinen Versuchen war die Primärspule mit Erde verbunden und, als weitere Vorsichtsmaassregel, war die Primärspule von der Entladungsröhre durch einen Schirm aus Löschpapier, der mit verdünnter Schwefelsäure angefeuchtet und mit Erde verbunden war, getrennt. Feuchtes Löschpapier ist ein genügend guter Leiter, um

*) Bemerkung von Prof. J. J. Thomson im Londoner „Electrician" vom 24. Juli 1891.

eine stationäre elektrostatische Wirkung abzuhalten, dagegen nicht leitend genug, um die Wellen einer alternirenden elektromotorischen Kraft aufzuhalten. Als ich die Versuche vor der Physikalischen Gesellschaft vorführte, konnte ich natürlich nicht die Röhren bedeckt halten, ich habe aber, wenn mich mein Gedächtniss nicht täuscht, die Vorsichtsmaassregeln angegeben, welche gegen die elektrostatische Wirkung getroffen worden waren. Um ein Missverständniss zu berichtigen, will ich bemerken, dass ich vor der Gesellschaft keinen förmlichen Vortrag hielt, vielmehr lag es nur in meiner Absicht, einige der am meisten typischen Versuche vorzuführen. Der Bericht über die Versuche im „Electrician" rührte von einem Berichterstatter her und war von mir weder geschrieben noch durchgesehen. Ich habe nunmehr die Niederschrift eines Berichtes über diese und eine grosse Anzahl verwandter Versuche beinahe fertig und hoffe sie demnächst veröffentlichen zu können; dieselben schliessen auch einige den Tesla'schen analoge Versuche über die Wirkung von in der Nähe der Entladungsröhre befindlichen Leitern, die, wie ich gefunden habe, in einigen Fällen eine Verminderung, in andern eine Vermehrung der Helligkeit der Entladung zur Folge haben, sowie einige Versuche über die Wirkung des Vorhandenseins von Substanzen von grosser specifischer Induktionskapacität ein. Diese scheinen mir eine befriedigende Erklärung zuzulassen, bezüglich deren ich jedoch auf meine Abhandlung verweisen muss."



III. Abschnitt.

Verschiedene Erfindungen und Schriften.



33. Kapitel.

Methode zur Umwandlung von Wechselströmen in Gleichströme.

Die Methode besteht in der Erzeugung von Gleichströmen aus Wechselströmen oder in der Gleichrichtung der Wellen eines Wechselstromes in der Weise, dass gleichgerichtete oder wesentlich gleichgerichtete Ströme entstehen, dadurch dass in den Zweigen eines eine Wechselstromquelle enthaltenden Stromkreises entweder dauernd oder periodisch und durch elektrische, elektromagnetische oder magnetische Hülfsmittel Energieäusserungen oder, wie man sie nennen könnte, aktive Widerstände von entgegengesetzter elektrischer Natur entwickelt oder erzeugt werden, wobei die Ströme oder Stromwellen von entgegengesetztem Vorzeichen durch verschiedene Stromkreise geleitet werden, indem diejenigen des einen Zeichens über den einen Zweig und diejenigen des entgegengesetzten Zeichens über den andern Zweig gehen.

Wir brauchen hier nur den Fall eines in zwei Zweige getheilten Stromkreises zu betrachten, insofern als jede weitere Untertheilung nur eine Erweiterung des allgemeinen Princips bedeutet. Indem er einen beliebigen von einem Wechselstrome durchflossenen Stromkreis nimmt, theilt Tesla einen solchen Stromkreis in irgend einem beliebigen Punkte in zwei Zweige. In den einen dieser Zweige schaltet er irgend einen Apparat, durch welchen für die Wellen oder Stromimpulse des einen Zeichens eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt wird, und ebenso in den andern Zweig einen ähnlichen Apparat, welcher den Wellen des entgegengesetzten Zeichens entgegenwirkt. Diese Apparate können z. B. primäre oder sekundäre Batterien oder Gleichstromdynamomaschinen sein. Die den Hauptstrom bildenden Wellen oder Stromstösse entgegengesetzter Richtung haben ein natürliches Bestreben, sich zwischen den beiden Zweigen zu theilen; aber wegen der entgegengesetzten elektrischen Beschaffenheit oder Wirkung der beiden Zweige wird der eine einem Strome von bestimmter Richtung einen leichten Durchgang darbieten, während der andere dem Durchgang desselben Stromes einen verhältnissmässig hohen Widerstand entgegensetzt. Das Resultat dieser Anordnung ist, dass die Stromwellen des einen Zeichens theilweise oder ganz über den

einen Zweig, die des entgegengesetzten Zeichens aber über den andern Zweig gehen. Man kann auf diese Weise aus einem Wechselstrome zwei oder mehr Gleichströme erhalten und zwar ohne die Anwendung irgend eines Kommutators, wie er früher als nothwendig erachtet wurde. Der Strom in jedem der beiden Zweige kann in gleicher Weise und zu denselben Zwecken benutzt werden wie jeder andere Gleichstrom, d. h. er kann zum Laden von Sekundärbatterien, zur Erregung von Elektromagneten und zu jedem andern ähnlichen Zwecke dienen.

Fig. 220 stellt eine Methode der Gleichrichtung der Wechselströme mit Hülfe von Vorrichtungen rein elektrischer Natur dar, während die Diagramme Fig. 221—226 zur Erläuterung einiger anderer Ausführungsformen der Erfindung dienen.

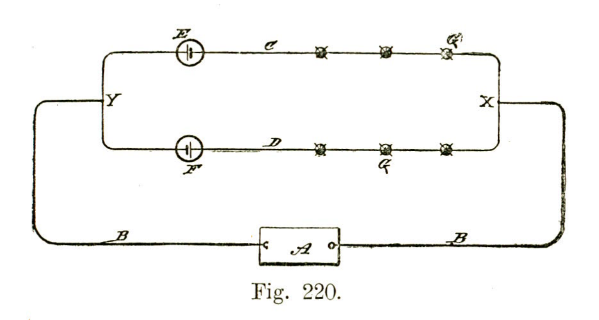


Fig. 220.

In Fig. 220 bezeichnet A einen Wechselstromerzeuger und BB den von ihm ausgehenden Haupt- oder Linienstromkreis. An irgend einer gegebenen Stelle dieses Stromkreises, an welcher man Gleichstrom haben möchte, ist der Stromkreis B in zwei Zweige CD getheilt. In jeden dieser Zweige ist ein Stromerzeuger eingeschaltet, der, wie wir gegenwärtig annehmen wollen, Gleichströme erzeugt. Die Richtung des so erzeugten Stromes ist in dem einen Zweige entgegengesetzt derjenigen des Stromes in dem andern Zweige oder, wenn man sich denkt, dass die beiden Zweige einen geschlossenen Stromkreis bilden, so sind die Generatoren EF in ihm hinter einander geschaltet, indem ein Generator in jedem Theile oder jeder Hälfte des Stromkreises liegt. Die elektromotorische Kraft der Stromquellen E und F kann ebenso gross oder höher oder niedriger als die elektromotorischen Kräfte in den Zweigen CD oder zwischen den Punkten X und Y des Stromkreises BB sein. Sind die elektromotorischen Kräfte gleich, so werden offenbar die Stromwellen des einen Vorzeichens in dem einen Zweige aufgehoben und in dem andern verstärkt in solchem Maasse, dass sämmtliche Wellen des einen Zeichens über den einen Zweig und diejenigen des entgegengesetzten Zeichens über den andern Zweig gehen. Wenn dagegen die elektromotorische Kraft der Quellen EF geringer ist als die zwischen X und Y, so werden die Ströme in beiden Zweigen alternirende sein, jedoch wer-

den die Wellen des einen Zeichens vorwiegen. Man kann einen der Generatoren oder eine der Stromquellen E oder F weglassen; doch thut man besser, falls sie einen merklichen Widerstand darbieten, beide anzuwenden, da dann beide Zweige dadurch besser ausgeglichen werden. Die Umwandlungs- oder andern Apparate, welche durch den Strom bethätigt werden sollen, sind durch die Buchstaben G bezeichnet und in irgend einer Weise in die Zweige CD eingeschaltet; um aber zwischen den beiden Zweigen einen möglichst guten Ausgleich zu erhalten, muss man natürlich gebührende Rücksicht auf die Anzahl und den Charakter der Apparate nehmen.

Die Fig. 221—224 stellen gewissermassen elektromagnetische Vorrichtungen zur Erzielung desselben Resultats dar, d. h. anstatt direkt durch einen Generator eine elektromotorische Kraft in jedem Zweige des Stromkreises zu erzeugen, stellt Tesla ein oder mehrere Kraftfelder her

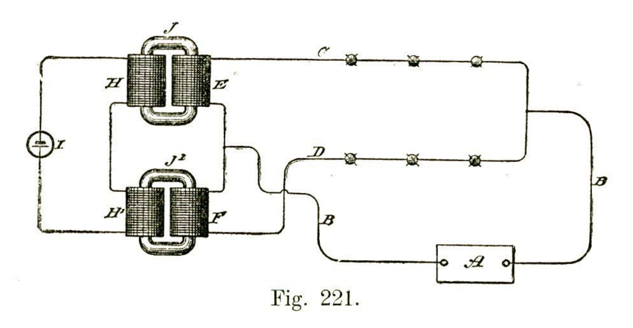


Fig. 221.

und führt die Zweige in der Weise durch sie hindurch, dass in ihnen durch den Durchgang der Stromwechsel eine Kraft von entgegengesetzter Wirkung oder Richtung erzeugt wird. In Fig. 221 z. B. ist A der Wechselstromerzeuger, BB der Linienstromkreis und CD die Zweige, über welche die Wechselströme geleitet werden. In jeden Zweig ist die sekundäre Wickelung eines Transformators oder einer Induktionsspule eingeschaltet, welche, da sie bezüglich ihrer Funktionen den Batterien der vorigen Figur entsprechen, ebenfalls mit den Buchstaben EF bezeichnet sind. Die primären Wickelungen HH' der Induktionsspulen oder Transformatoren sind entweder parallel oder in Serie mit einer Gleichstromquelle I verbunden und die Anzahl der Windungen ist für die von I abgegebene Stromstärke in der Art berechnet, dass die Kerne JJ' gesättigt werden. Die Schaltungen sind derart, dass die Verhältnisse in den beiden Transformatoren entgegengesetzter Beschaffenheit sind, d. h. die Anordnung ist derart, dass eine Stromwelle oder ein Stromimpuls, welcher in Bezug auf seine Richtung mit derjenigen des Gleichstromes

in der einen Primärspule z. B. *H* übereinstimmt, die entgegengesetzte Richtung hat, wie die in der andern Primärspule *H'*. Es folgt daraus, dass, während die eine sekundäre Wickelung dem Durchgange einer Welle des einen Vorzeichens einen Widerstand entgegensetzt, die andere sekundäre Wickelung in gleicher Weise einer Welle von entgegengesetztem Vorzeichen entgegenwirkt. Infolgedessen werden die Wellen des einen Vorzeichens in grösserem oder geringerem Maasse ihren Weg über den einen Zweig nehmen, während diejenigen des entgegengesetzten Vorzeichens in gleicher Weise über den andern Zweig gehen.

Anstatt die Primärwickelungen durch eine Gleichstromquelle zu sättigen, kann man dieselben bezüglich in die Zweige *CD* einschalten

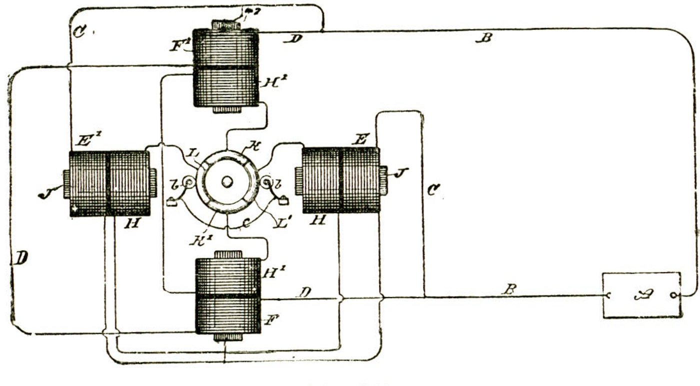


Fig. 222.

und durch irgend eine geeignete mechanische Vorrichtung, z. B. durch einen gewöhnlichen rotirenden Kommutator, ihre sekundären Wickelungen periodisch kurzschliessen. Natürlich muss die Rotation und Wirkung des Kommutators synchron oder in passender Uebereinstimmung mit den Perioden der Stromwechsel sein, um die gewünschten Resultate zu erzielen. Eine solche Disposition ist in Fig. 222 diagrammatisch dargestellt. Den vorhergehenden Figuren entsprechend, ist *A* der Wechselstromgenerator, *BB* die Linie und *CD* die beiden Zweige für die Gleichströme. In den Zweig *C* sind zwei Primärspulen *EE'* und in den Zweig *D* zwei ähnliche Primärspulen *FF'* eingeschaltet. Die zugehörigen sekundären Spulen für diese Primärspulen, welche auf den nämlichen untertheilten Kernen *JJ'* angebracht sind, befinden sich in Stromkreisen, deren Enden mit den gegenüberliegenden Segmenten *KK'* bezw. *LL'* eines Kommutators verbunden sind. Auf dem Kommutator schleifen Bürsten *b b*, welche abwechselnd die Platten *K* und *K'* und *L* und *L'* durch eine Verbin-

dung c kurzschliessen. Es liegt auf der Hand, dass entweder die Magnete und der Kommutator oder die Bürsten rotiren können.

Die Funktionirungsweise des Apparates ergiebt sich leicht aus einer Betrachtung der Wirkungen, welche das Kurzschliessen der sekundären Spulen zur Folge hat. Wird z. B. in dem Augenblick, wo eine gegebene Stromwelle hindurchgeht, eine Gruppe der Sekundärspulen kurzgeschlossen, so fliesst nahezu der gesammte Strom durch die entsprechenden Primärspulen; da aber die sekundären Spulen des andern Zweiges offen sind so ist die Selbstinduktion in den Primärspulen am höchsten und daher fliesst wenig oder gar kein Strom durch jenen Zweig. Werden beim jedesmaligen Wechseln des Stromes die sekundären Wickelungen der beiden Ströme abwechselnd kurzgeschlossen, so ist das Resultat, dass die

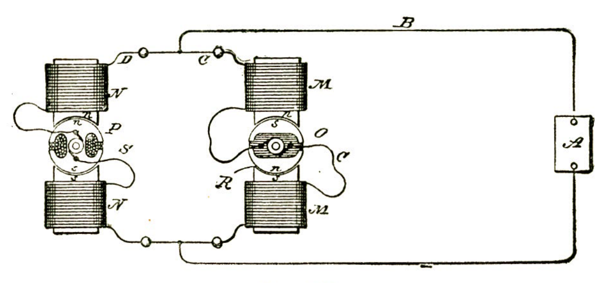


Fig. 223.

Ströme des einen Vorzeichens über den einen Zweig und diejenigen von entgegengesetztem Vorzeichen über den andern Zweig gehen. Die Nachtheile dieser Anordnung, welche sich aus der Anwendung von Schleifkontakten anscheinend ergeben, sind in Wirklichkeit sehr unbedeutend, da die elektromotorische Kraft der sekundären Spulen ausserordentlich gering gemacht werden kann, so dass Funken an den Bürsten vermieden werden.

Eine andere Ausführungsform der Erfindung ist in Fig. 223, theilweise im Schnitt, diagrammatisch dargestellt. Der Stromkreis B ist in diesem Falle wie vorher getheilt und jeder Zweig enthält die Spulen sowohl der Feldmagnete wie der rotirenden Anker zweier Induktionsapparate. Die Anker $O\,P$ werden am besten auf derselben Welle montirt und sind gegeneinander in der Weise adjustirt, dass die Selbstinduktion in dem einen Zweige, z. B. D, zu derselben Zeit ein Minimum ist, während sie in dem andern Zweige, z. B. C, ihren grössten Werth erreicht. Die Anker rotiren synchron mit den Stromwechseln der Stromquelle A. Die Wickelung oder Lage der Ankerspulen ist derart, dass

ein durch beide Anker in gegebener Richtung hindurchgesandter Strom in dem einen mit den benachbarten Polen des Feldes gleichnamige Pole und in dem andern mit den anliegenden Feldpolen ungleichnamige Pole erzeugt, wie im Diagramm durch die Buchstaben *n n s s* angedeutet ist. Wenn gleichnamige Pole einander gegenüberstehen, wie im Stromkreis *D*, so sind die Verhältnisse ähnlich wie bei einer geschlossenen sekundären Wickelung auf einer primären, oder es ist die Lage des geringsten induktiven Widerstandes; daher geht ein gegebener Stromwechsel hauptsächlich durch *D*. Eine halbe Umdrehung der Anker bringt eine entgegengesetzte Wirkung hervor und der nachfolgende Stromstoss geht durch *C*. Benutzt man diese Figur als Erläuterung, so ist klar, dass die Felder *N M* entweder permanente oder unabhängig erregte Magnete

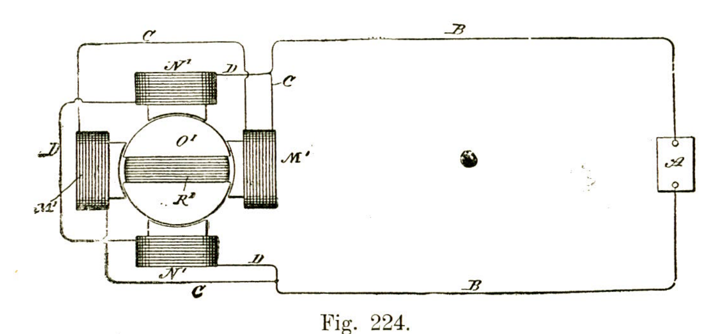


Fig. 224.

sein und die Anker *O P*, wie im vorliegenden Falle, derart bewegt werden können, dass sie Wechselströme erzeugen, welche in den beiden Zweigen *D C*, die in solchem Falle nur die Ankerstromkreise und Verbrauchsapparate enthalten würden, abwechselnd Stromimpulse von entgegengesetzter Richtung hervorbringen.

In Fig. 224 ist eine von der in Fig. 222 dargestellten etwas verschiedene Anordnung skizzirt. In dem vorhergehenden Falle enthielt jeder Zweig *C* und *D* eine oder mehrere Primärspulen, deren sekundäre Spulen synchron mit den Stromwechseln der Hauptquelle *A* kurzgeschlossen wurden, zu welchem Zwecke ein Kommutator verwendet wurde. Der letztere kann indessen weggelassen und an Stelle dessen ein Anker mit geschlossener Wickelung verwendet werden.

Wie aus Fig. 224 ersichtlich, befinden sich in dem einen der Zweige, z. B. in *C*, zwei auf untertheilte Kerne gewickelte Spulen *M'* und in den andern Zweigen *D* zwei ähnliche Spulen *N'*. Ein untertheilter eine geschlossene Spule *R'* tragender Anker *O'* ist drehbar zwischen den Spulen *M' N'* gelagert. In der in der Figur dargestellten

Lage, d. h. wenn die Spule R' den Windungen der primären Spulen $N' M'$ parallel ist, geht praktisch der ganze Strom durch den Zweig D, weil die Selbstinduktion in den Spulen $M' M'$ ihren grössten Werth besitzt. Wenn daher der Anker und die Spule mit einer passenden Geschwindigkeit bezüglich der Perioden oder Stromwechsel der Quelle A rotirt werden, so erzielt man dieselben Resultate wie mit der in Fig. 222 dargestellten Anordnung.

Fig. 225 zeigt eine Methode zur Erreichung desselben Resultats, die man zum Unterschiede von den andern eine magnetische nennen kann. V und W sind zwei starke permanente Magnete, die bezüglich mit den Ankern $V' W'$ versehen sind. Die Anker sind aus dünnen Blechen aus weichem Eisen oder Stahl hergestellt, und die Masse des magnetischen Metalls, welche sie enthalten, ist so berechnet, dass sie

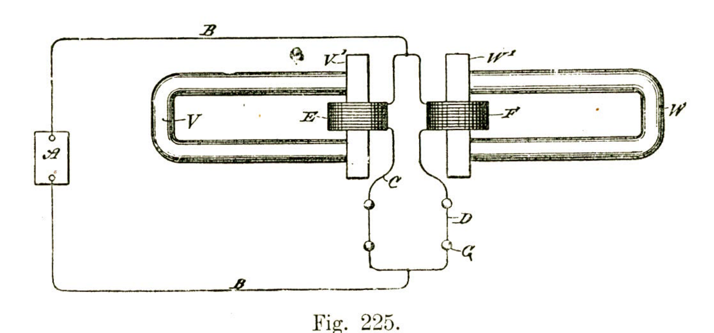


Fig. 225.

durch die Magnete vollständig oder nahezu gesättigt werden. Um die Anker sind Spulen $E F$ gewickelt, welche respektive in die Stromkreise C und D eingeschaltet sind. Die Verbindungen und elektrischen Verhältnisse sind in diesem Falle ähnlich denen in Fig. 221, nur dass die Stromquelle I Fig. 221 weggelassen ist und die Sättigung des Kernes der Spulen $E F$ durch die permanenten Magnete erfolgt.

In den vorhergehenden Figuren waren die beiden, die Stromverbrauchs- oder Induktionsapparate enthaltenden Zweige in Parallelschaltung zu einander dargestellt; doch ist dies durchaus nicht nothwendig. In Fig. 226 z. B. ist A ein Wechselstromgenerator, $B B$ sind die Liniendrähte. An irgend einer gegebenen Stelle des Stromkreises theilt sich der letztere in zwei Zweige $D D'$ und an einer andern Stelle in zwei Zweige $C C'$. Jedes Paar dieser Zweige ist den früheren Anordnungen, bei denen sich die Elektricitätsquelle oder der Induktionsapparat nur in dem einen Zweige befand, analog, während die beiden Paare zusammengenommen offenbar denjenigen Fällen äquivalent sind, in denen ein Induktionsapparat oder

Stromerzeuger in beide Zweige eingeschaltet ist. In dem einen der Zweige, z. B. in *D*, sind die durch den Strom zu betreibenden Apparate eingeschaltet. In dem andern Zweige, z. B. in *D'*, befindet sich ein Induktionsapparat, welcher den Stromimpulsen der einen Richtung den Durchgang versperrt und dieselben durch den Zweig *D* hindurchtreibt. Ebenso sind in den Zweig *C* Verbrauchsapparate *G* und in den Zweig *C'* ein Induktionsapparat oder dergleichen eingeschaltet, welcher durch den Zweig *C* diejenigen Stromstösse hindurchlenkt, deren Richtung den durch den Apparat im Zweige *D'* abgelenkten entgegengesetzt ist. Das Diagramm zeigt eine besondere Form des Induktionsapparates

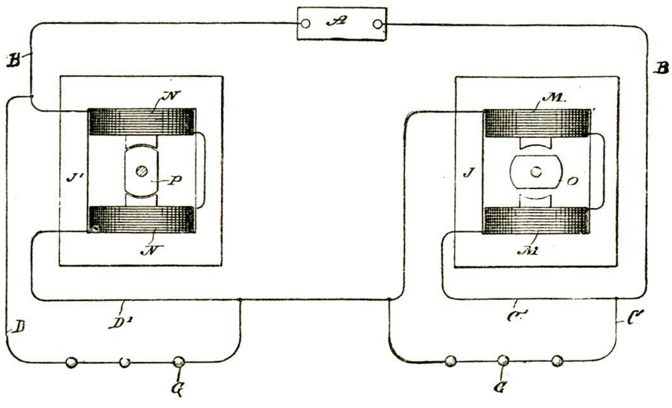


Fig. 226.

für diesen Zweck. *JJ'* sind die Kerne, die mit Polansätzen versehen sind, auf welchen die Spulen *M N* aufgewickelt sind. Zwischen diesen Polstücken sind rechtwinklig zu einander die Magnetanker *O P* angebracht, die am besten auf dieselbe Welle montirt und derart angeordnet sind, dass sie synchron mit den Wechseln des Stromes rotiren. Wenn der eine der Anker in der Richtung der Polstücke oder in der Lage wie Anker *P* sich befindet, so ist der magnetische Stromkreis der Induktionsvorrichtung praktisch geschlossen; demnach wird dem Durchgang des Stromes durch die Spulen *NN* der grösste Widerstand entgegengesetzt. Der Stromstoss wird daher den Umweg über Zweig *D* machen. Da gleichzeitig der magnetische Stromkreis der andern Induktionsvorrichtung infolge der Stellung des Ankers *O* unterbrochen ist, so wird dem Strome in den Spulen *M* weniger Widerstand entgegengesetzt, dieselben bilden daher einen Nebenschluss für den aus dem Zweige *C* kommenden Strom. Eine Umkehrung des Stromes, welche mit einer

Verschiebung der Anker verbunden ist, bringt die entgegengesetzte Wirkung hervor.

Es sind noch andere Abänderungen dieser Methoden möglich, auf welche jedoch nicht näher eingegangen zu werden braucht. Bei allen diesen Anordnungen wird in dem einen oder in allen Zweigen eines von einer Wechselstromquelle ausgehenden Stromkreises den Strömen des einen Vorzeichens ein aktiver (im Gegensatz zu einem todten) Widerstand erzeugt, zu dem Zwecke, die Ströme dieses Vorzeichens durch den andern Zweig oder einen der andern Zweige zu lenken, während die Ströme des entgegengesetzten Vorzeichens ohne wesentlichen Widerstand durch sie hindurchgehen können.

Ob die Theilung der Ströme oder Stromwellen entgegengesetzten Vorzeichens mit absoluter Genauigkeit erfolgt oder nicht, ist unwesentlich, da es genügt, wenn die Wellen nur zum Theil abgelenkt werden, weil in einem solchen Falle der überwiegende Einfluss der Wellen des einen Zeichens in jedem Zweige des Stromkreises in vieler, wenn nicht in jeder Beziehung dasselbe praktische Resultat ergiebt, als ob der Strom einerlei Richtung hätte oder ein Gleichstrom wäre.

Es wurden auch ein Wechselstrom und ein Gleichstrom derart kombinirt, dass die Wellen der einen Richtung oder des einen Zeichens theilweise oder ganz von dem Gleichstrom aufgehoben wurden; nach dieser Methode aber wird nur eine Gruppe der Stromwechsel nutzbar gemacht, während bei dem eben beschriebenen System der ganze Strom verwerthet wird. Durch auf der Hand liegende Anwendungen dieser Erfindung war Tesla im Stande, eine sich selbst erregende Wechselstrommaschine herzustellen, oder Gleichstromzähler in Wechselstromkreisen zu betreiben oder verschiedene Apparate, wie z. B. Bogenlampen, mit Gleichstrom in demselben Stromkreise mit durch Wechselstrom betriebenen Glühlampen oder anderen Apparaten zu speisen.

Wird in den Zweigen des Stromkreises eine intermittirende Gegenkraft von höherer Spannung als diejenige des Generators erzeugt, so wird offenbar ein Wechselstrom in jedem Zweige sich ergeben, bei welchem die Wellen des einen Zeichens vorwiegen, während ein konstant oder gleichförmig wirkender Widerstand in den Zweigen von höherer elektromotorischer Kraft als diejenige des Generators einen pulsirenden Strom erzeugt, Verhältnisse, die unter gewissen Umständen den eben beschriebenen äquivalent sein würden.

34. Kapitel.

Kondensatoren mit in Oel tauchenden Platten.

Bei Versuchen mit Strömen hoher Frequenz und hoher Spannung fand Tesla, dass Isolirmaterialien wie Glas, Glimmer und überhaupt solche Körper, welche sehr hohe specifische Induktionskapacität besitzen, für solche Apparate, bei denen Ströme der gedachten Art zur Verwendung gelangen, weniger geeignet sind als solche, welche hohes Isolationsvermögen und zugleich geringere specifische Induktionskapacität besitzen. Ferner fand er, dass es sehr erwünscht ist, alle gasförmige Materie von den Apparaten und jeden Zutritt derselben zu den elektrisirten Flächen fernzuhalten, um die Erhitzung durch das Bombardement der Moleküle und den daraus folgenden Verlust oder eine Beschädigung zu verhüten. Er hat daher eine Methode erfunden, um durch Benutzung von Oel als Dielektrikum die gewünschten Resultate zu erzielen und Kondensatoren von grosser Wirksamkeit und Verlässlichkeit herzustellen.*) Die Methode gestattet eine besondere Konstruktion des Kondensators, bei welcher die Entfernung zwischen den Platten regulirbar ist und die in vielen Fällen von Vortheil ist.

In den nachstehenden Abbildungen stellt Fig. 227 einen Schnitt eines nach diesem Princip gebauten Kondensators mit feststehenden Platten dar, während Fig. 228 eine ähnliche Ansicht eines Kondensators mit regulirbaren Platten zeigt.

Zur Aufnahme der Platten oder Belegungen kann irgend ein passender Kasten oder Behälter A verwendet werden. Die ersteren sind mit B und C bezeichnet und respektive mit den Klemmen D und E ver-

*) Wie der aufmerksame Leser seiner drei Vorträge bemerkt haben wird, haben Tesla's Versuche eine sehr wichtige Thatsache zu Tage gefördert, aus der bei dieser Erfindung Vortheil gezogen wird. Er hat nämlich gezeigt, dass bei einem Kondensator ein beträchtlicher Betrag an Energie verloren gehen und der Kondensator durchschlagen werden kann, bloss weil zwischen den Flächen gasförmige Materie vorhanden ist. In den Vorträgen sind eine Anzahl von Versuchen beschrieben, welche diese Thatsache zwingend darthun und nützliche Winke für die Bethätigung von Hochspannungsapparaten enthalten. Aber abgesehen von ihrer Bedeutung in dieser Hinsicht, verbreiten diese Versuche auch Licht über Untersuchungen rein wissenschaftlicher Natur und erklären den Mangel an Uebereinstimmung zwischen den Beobachtungen verschiedener Forscher. Tesla zeigte, dass in einer Flüssigkeit wie Oel die Verluste im Vergleich zu denen, welche in einem Gase vorkommen, sehr gering sind.

bunden, welche an den Seiten des Gefässes heraustreten. Die Platten sind gewöhnlich durch Streifen aus porösem isolirenden Material *F* getrennt, die bloss dazu dienen, um jene in ihrer Lage festzuhalten. Der Raum im Innern des Gefässes ist mit Oel *G* ausgefüllt. Ein solcher Kondensator besitzt eine hohe Leistungsfähigkeit und wird nicht heiss oder dauernd untauglich.

In vielen Fällen ist es wünschenswerth, die Kapacität des Kondensators ändern oder reguliren zu können, und dies wird dadurch erreicht,

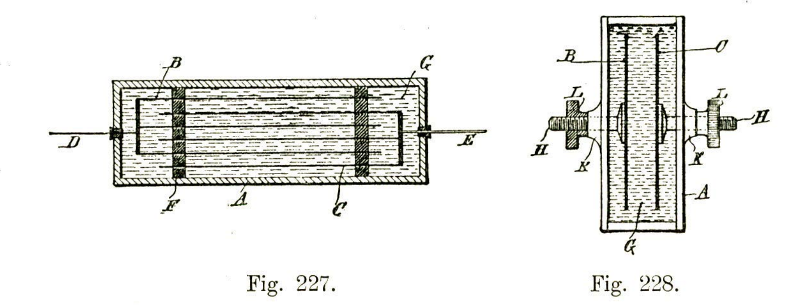


Fig. 227. Fig. 228.

dass man die Platten an regulirbaren Haltern, z. B. an Stäben *H* befestigt, welche durch Stopfbüchsen *K* in den Seiten des Gefässes *A* hindurchgehen und mit Schraubenmuttern *L* versehen sind, indem die Enden der Stäbe schraubenspindelförmig hergerichtet sind.

Dass Oele isolirende Eigenschaften besitzen, ist bekannt, und es ist in der Praxis allgemein gebräuchlich, zwischen zwei Leiter zum Zwecke der Isolation eine Oelmasse zu bringen. Tesla glaubt jedoch besondere Eigenschaften an Oelen entdeckt zu haben, welche sie für diese besondere Art von Apparaten sehr werthvoll machen.

---

35. Kapitel.

Registrirender elektrolytischer Zähler.

Eine von Tesla herrührende ingeniöse Form eines elektrolytischen Elektricitätszählers ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Leiter in eine Lösung taucht, derart dass Metall aus der Lösung niedergeschlagen oder fortgeführt werden kann in solcher Weise, dass der elektrische Widerstand des Leiters in bestimmtem Verhältniss zu der Stärke des Stromes, dessen Energie gemessen werden soll, sich ändert, wobei

diese Aenderung des Widerstandes als Maass der Energie dient, und ferner einen Registrirmechanismus bethätigen kann, wenn der Widerstand über oder unter eine gewisse Grenze steigt oder sinkt.

Zur Ausführung dieses Gedankens benutzt Tesla eine elektrolytische Zelle, durch welche zwei Leiter parallel zu einander und dicht neben einander hindurchgeführt sind. Diese Leiter werden durch einen Widerstand hindurch hinter einander geschaltet, aber in solcher Weise, dass ihrer ganzen Länge nach zwischen ihnen eine gleiche Potentialdifferenz besteht. Die freien Enden oder Klemmen der Leiter werden entweder in Serie in den Stromkreis, welcher die Lampen oder andere Apparate speist, oder parallel zu einem Widerstande in dem Stromkreise und in Serie zu den Stromverbrauchsapparaten geschaltet. Unter solchen Umständen stellt ein die Leiter durchfliessender Strom eine Potentialdifferenz zwischen ihnen her, welche der Stromstärke proportional ist, infolgedessen ein Stromübergang von dem einen Leiter zum andern durch die Lösung stattfindet. Die Stärke dieses Uebergangsstromes ist proportional der Spannungsdifferenz und daher proportional der Stärke des durch die Leiter fliessenden Stromes. Da ferner zwischen den beiden Leitern über ihre ganze der Einwirkung der Lösung ausgesetzte Länge eine konstante Spannungsdifferenz besteht, so ist die Stromdichte durch eine solche Lösung in allen entsprechenden Punkten dieselbe und daher der Niederschlag an der ganzen Länge des einen Leiters entlang gleichmässig, während das Metall von dem andern Leiter gleichmässig abgelöst wird. Hierdurch wird der Widerstand des einen Leiters vermindert, der des andern dagegen vergrössert und zwar beides proportional zur Stärke des durch die Leiter fliessenden Stromes. Aus einer solchen Aenderung des Widerstandes des einen oder der beiden die positive und negative Elektrode des Elementes bildenden Leiter kann die aufgewendete Stromenergie leicht berechnet werden. Die Fig. 229 und 230 stellen zwei Formen eines solchen Zählers dar.

In Fig. 229 bezeichnet G einen Gleichstromgenerator. LL sind die Leiter des von demselben ausgehenden Stromkreises. A ist eine Glasröhre, deren Enden etwa durch isolirende Stöpsel oder Kappen BB geschlossen sind. CC' sind zwei sich durch die Röhre A erstreckende Leiter, deren Enden durch die Stöpsel B hindurch nach daran befestigten Klemmen gehen. Diese Leiter können gerippt oder in anderer passender Weise hergerichtet sein, um den gewünschten elektrischen Widerstand darzubieten. R ist ein Widerstand, der mit den beiden Leitern CC' hinter einander geschaltet ist. Die freien Enden der letzteren sind mit je einem der Leiter L verbunden.

Die Art der Benutzung dieses Apparates und der Berechnung der Energie des Stromes mit Hülfe desselben ist leicht verständlich. Zunächst werden die Widerstände der beiden Leiter $C\,C'$ genau gemessen und notirt. Dann wird eine gegebene Zeit lang ein bekannter Strom durch das Instrument gesandt und durch eine zweite Messung die Vergrösserung und Verkleinerung des Widerstandes der beiden Leiter festgestellt. Aus diesen Daten erhält man die Konstante des Instrumentes, d. h. z. B. die Vergrösserung des Widerstandes des einen Leiters oder die Verringerung des Widerstandes des andern per Lampenstunde. Diese beiden Messungen kontrolliren offenbar einander, da die Zunahme des einen Leiters gleich der

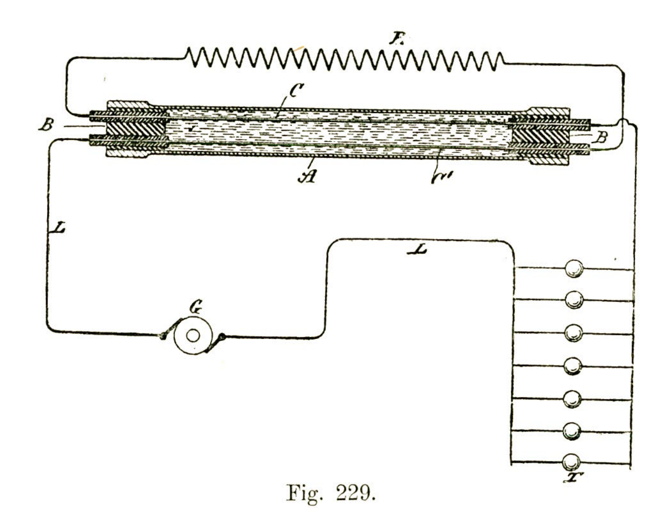


Fig. 229.

Abnahme des andern sein sollte. Eine weitere Kontrolle erhält man, wenn man beide Drähte in Hintereinanderschaltung mit dem Widerstande misst, da in diesem Falle der Widerstand der ganzen Anordnung konstant bleiben müsste.

In Fig. 230 sind die Leiter $C\,C'$ parallel geschaltet, so dass der bei X sich theilende Strom in dem einen Zweige zuerst durch inene Widerstand R' und dann durch den Leiter C hindurchgeht, während er in dem andern Zweige zuerst durch den Leiter C' und dann durch den Widerstand R'' fliesst. Die Widerstände $R'\,R''$ sind gleich, ebenso die Widerstände der Leiter $C\,C'$. Ferner ist es zweckmässig, dass die respektiven Widerstände der Leiter $C\,C'$ ein bekannter und passend gewählter Bruchtheil der Widerstände $R'\,R''$ seien. Es ist ersichtlich, dass bei der in Fig. 230 dargestellten Anordnung eine konstante Span-

nungsdifferenz zwischen den beiden Leitern $C\,C'$ ihrer ganzen Länge nach besteht.

Wie man sieht, ist in beiden dargestellten Fällen die Proportionalität der Zunahme oder Abnahme des Widerstandes mit der Stromstärke stets gewahrt, da das, was der eine Leiter gewinnt, der andere Leiter verliert und die Widerstände der Leiter $C\,C'$ im Vergleich zu den mit ihnen hinter einander geschalteten Widerständen gering sind. Es ist klar, dass nach jeder Messung oder Registrirung einer gegebenen Widerstandsänderung in dem einen oder in beiden Leitern die Richtung des Stromes geändert oder das Instrument umgekehrt werden muss, so dass

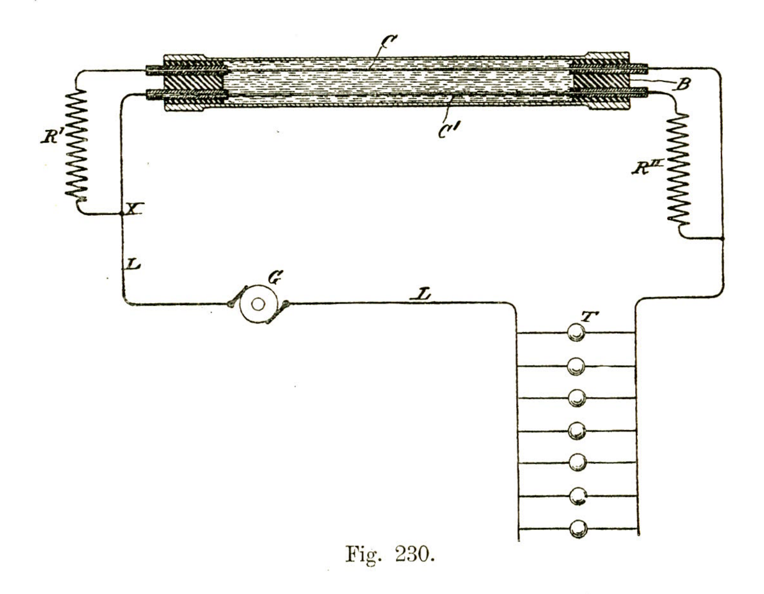


Fig. 230.

der Niederschlag demjenigen Leiter, welcher vorher zugenommen hatte, entnommen und demjenigen, welcher vorher abgenommen hatte, hinzugefügt wird. Dieses Princip ist mehrfacher Abänderungen fähig. Beispielsweise kann, da es ein Theil des Stromkreises, d. h. der Leiter C oder C', ist, dessen Widerstand proportional zur Stromstärke sich ändert, diese Aenderung, wie es in vielen ähnlichen Fällen geschieht, dazu benutzt werden, um verschiedene automatische Vorrichtungen, wie z. B. ein Zählwerk, zu bethätigen. Der Einfachheit halber ist es jedoch besser, die Energie durch Widerstandsmessungen zu berechnen.

Die Hauptvortheile dieser Anordnung sind erstens, dass es möglich ist, den aufgewendeten Energiebetrag mittels eines geeignet konstruirten Ohmmeters direkt abzulesen, ohne den Niederschlag wiegen zu müssen;

zweitens braucht man keine Nebenschlüsse anzuwenden, da der ganze zu messende Strom durch das Instrument gesandt werden kann; drittens werden die Genauigkeit des Instrumentes und die Richtigkeit der Angaben nur wenig durch Temperaturänderungen beeinflusst. Ferner sollen solche Zähler auch den Vortheil grösserer Oekonomie und geringer Raumbeanspruchung so wie der billigeren Herstellung besitzen. Man muss eben, um elektrolytische Zähler dauernd populär zu machen, mag auch ihre Konstruktion noch so viel Kunst und Scharfsinn aufweisen, auch alle sonstigen Vorzüge derselben zur Geltung bringen.

---

36. Kapitel.

Thermomagnetische Motoren und pyromagnetische Generatoren.

Kein auf elektrischem Gebiete thätiger Erfinder der Gegenwart, welcher sich mit den Problemen der Licht- und Krafterzeugung beschäftigt, glaubt, sich selbst oder seinen Fähigkeiten gerecht geworden zu sein, ehe er sich nicht an dem Gegenstande des Thermomagnetismus versucht hat. Schon im Anfang des siebzehnten Jahrhunderts zeigte Dr. William Gilbert, der Vater der modernen Elektricitätslehre, dass ein Magnet oder Eisenstab, bis zur Rothgluth erhitzt, seinen Magnetismus verliert, und seit jener Zeit ist der Einfluss der Wärme auf die magnetischen Metalle häufig untersucht worden, allerdings ohne ein wesentliches und praktisches Ergebniss.

Für einen Mann von solchem Erfindungstalent wie Tesla hatten natürlich die auf dieses Gebiet bezüglichen Probleme keinen geringen Reiz, und obwohl er sich nur oberflächlich mit ihnen beschäftigt hat, steht doch zu hoffen, dass er Zeit finden wird, dieselben tiefer und vollständiger zu studiren. Bei einem Manne wie er muss die Untersuchung zweifellos Früchte tragen. Inzwischen hat er ein oder zwei funktionirende Apparate hergestellt, die erwähnt zu werden verdienen.*)

*) Aus der Natur dieser Apparate ergiebt sich natürlich ohne Weiteres, dass die auf diese Weise erzeugte Schwingung nur sehr langsam sein kann infolge der Unfähigkeit des Eisens, schnellen Temperaturänderungen zu folgen. Bei einer Unterhaltung mit Tesla über diesen Gegenstand lernte der Verfasser einen Versuch kennen, der Studirende interessiren dürfte. Man nimmt einen einfachen Hufeisenmagnet und bringt ein in der Form eines L gebogenes Stück Eisenblech in

Er erzeugt mechanische Arbeit durch eine aus der vereinigten Bethätigung von Wärme, Magnetismus und einer Feder oder eines Gewichtes oder einer andern Kraft sich ergebende umkehrbare Wirkung, d. h. er unterwirft einen durch Induktion oder auf andere Weise magnetisirten Körper der Wirkung der Wärme, bis der Magnetismus genügend abgeschwächt ist, um einem Gewichte oder einer Feder zu gestatten, den Körper in Bewegung zu setzen und dadurch die Wirkung der Wärme zu verringern, so dass sich der Magnetismus wieder hinreichend erholen kann, um den Körper in entgegengesetzter Richtung zu bewegen, wodurch derselbe wiederum der entmagnetisirenden Wirkung der Wärme ausgesetzt wird.

Es wird entweder ein Elektromagnet oder ein Dauermagnet benutzt und die Wärme wird gegen einen Körper gerichtet, der durch Induktion magnetisirt wird. Letzteres ist der Benutzung eines permanenten Magneten vorzuziehen, da hierdurch der Verlust an Magnetismus vermieden wird, welcher durch die Wirkung der Wärme in dem permanenten Magneten veranlasst werden könnte. Tesla hat auch Vorkehrungen getroffen für eine Verringerung der Wärmezufuhr oder für eine Abblendung derselben während jenes Theiles des Umkehrprocesses, in welchem die abkühlende Wirkung stattfindet.

In den Diagrammen sind einige der zahlreichen Anordnungen dargestellt, welche zur Ausführung dieses Gedankens benutzt werden können. In allen diesen Figuren sind die Magnetpole mit NS, der Anker mit A, der Bunsenbrenner oder eine andere Wärmequelle mit H, die Bewegungsachse mit M und die Feder oder eine äquivalente Vorrichtung, z. B. ein Gewicht, mit W bezeichnet.

In Fig. 231 ist der permanente Magnet N mit einem Rahmen F verbunden, der die Achse M trägt, an welcher der Arm P hängt, an dessen unterem Ende der Anker A angebracht ist. Die Anschläge 2 und 3 begrenzen die Ausdehnung der Bewegung und die Feder W sucht den Anker A von dem Magneten N abzuziehen. Es ist nun klar, dass der Magnetismus von N ausreichen muss, um den Zug der Feder W zu überwinden und den Anker A gegen den Magneten N zu ziehen. Die auf den Anker A wirkende Wärme schwächt den in demselben inducirten

Berührung mit einem der Pole und zwar in einer solchen Lage, dass es durch die Anziehung des andern Poles gerade schwebend erhalten wird. Wird das Eisenblech durch eine darunter gesetzte Spirituslampe auf eine gewisse Temperatur erwärmt, so geräth es leicht in Schwingungen, und zwar oscillirt es 400 bis 500 mal in der Minute. Der Versuch ist leicht auszuführen und ist besonders interessant wegen der sehr grossen Schwingungszahl.

Magnetismus soweit, dass die Feder W den Anker von dem Magneten N abziehen und somit von der Wärmequelle H entfernen kann. Der Anker kühlt sich nunmehr ab und die Anziehung des Magnetes N wird wieder stärker als die Federkraft W und zieht den Anker A wieder über den Brenner H zurück, so dass ersterer von Neuem erwärmt wird und das Spiel sich wiederholt. Die auf diese Art erzeugte pendelnde Bewegung kann in irgend einer Weise als eine Quelle mechanischer Arbeitsleistung verwendet werden. In der Regel wird man dazu eine mit einem Schwungrade verbundene Kurbelstange benutzen, wie aus Fig. 240 ersichtlich ist.

Fig. 232 sellt dieselbe Anordnung dar, wie vorher beschrieben wurde, nur ist an Stelle eines permanenten Magneten ein Elektromagnet verwendet. Das Spiel des Apparates ist jedoch dasselbe.

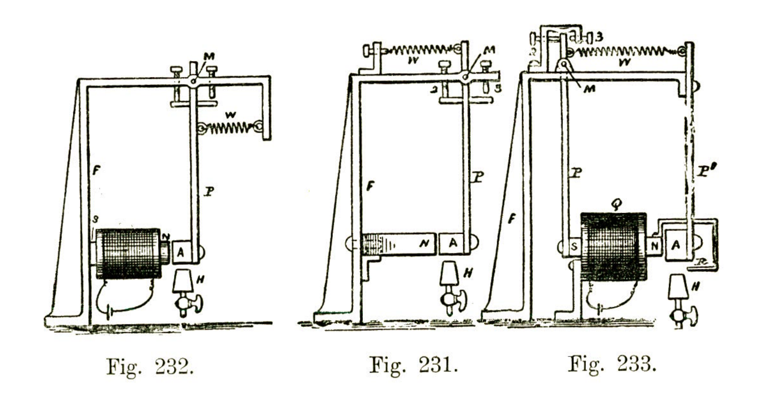


Fig. 232. Fig. 231. Fig. 233.

In Fig. 233 sind dieselben Theile wie in den Fig. 231 und 232 dargestellt, nur ist die Anordnung verschieden. Der Anker A ist nicht mehr pendelnd angebracht, sondern steht fest und wird durch den Arm P' gehalten; der Kern NS des Elektromagneten, welcher mittels des um den Zapfen M drehbaren Armes P aufgehängt ist, kann sich dagegen innerhalb der Spirale Q hin- und herbewegen. Mit dem Magnetkern ist ein Schirm R fest verbunden, der sich somit ebenfalls hin- und herbewegen kann, so dass, wenn die Wärme den Anker A soweit entmagnetisirt hat, dass die Feder W den Kern NS von dem Anker A abziehen kann, der Schirm R zwischen die Flamme H und den Anker A gelangt und dadurch die Wirkung der Wärme abfängt. Der Anker kühlt sich also wieder ab, der stärker werdende Magnetismus zieht den Kern NS gegen den Anker A und der zurückweichende Schirm R giebt die Flamme frei, so dass die Wärme wieder eine Schwächung oder

Aufhebung des Magnetismus bewirken kann. Diese regelmässige Hin- und Herbewegung kann zur Erzeugung einer drehenden oder irgend einer andern Bewegung benutzt werden.

Fig. 234 stimmt in jeder Beziehung mit Fig. 233 überein, nur ist an Stelle des Elektromagnets in Fig. 233 ein permanenter Hufeisenmagnet *N S* dargestellt.

In Fig. 235 ist eine Spirale *Q* mit einem Anker *A* dargestellt, der sich der Spirale nähern oder von ihr entfernen kann. In diesem Falle kann die Spirale einen weichen Eisenkern enthalten, oder der Anker kann die Form eines Solenoidkerns annehmen, während die Spule keinen permanenten Kern enthält.

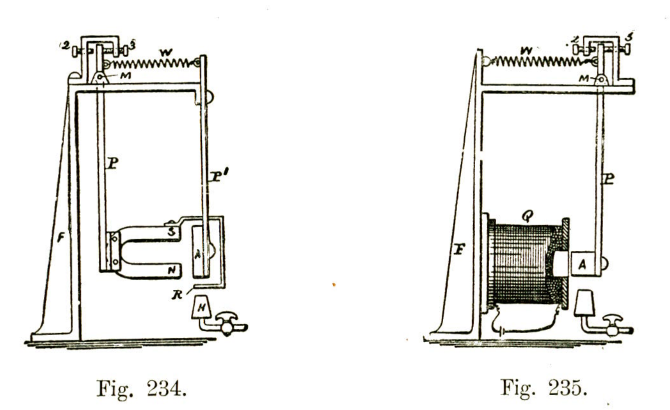
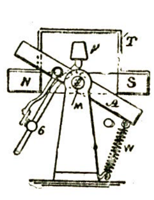
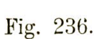


Fig. 234. Fig. 235.

Die Fig. 236 und Fig. 237 stellen in Endansicht und Draufsicht die Methode in ihrer Anwendung auf einen schwingenden Anker *A* und einen stationären Dauermagneten *N S* dar. In diesem Falle wirkt die Wärme auf einen Hülfsanker *T*, der am besten in direkter Berührung mit dem Magneten ist. Dieser Anker *T* in Form einer Eisenblechplatte erstreckt sich von dem einen Pol zum andern und ist von hinreichendem Querschnitt, um den Stromkreis des Magneten praktisch vollständig zu schliessen, so dass bei kaltem Anker *T* beinahe sämmtliche Kraftlinien durch denselben hindurchgehen und nur wenig freier Magnetismus übrig bleibt. Alsdann wird der Anker *A*, welcher um die Zapfen *M* frei vor den Polen *N S* schwingt, nur wenig angezogen, und die Feder *W* zieht ihn infolgedessen von den Polen fort in die im Diagramm angedeutete Lage. Die Wärme wird gegen die Eisenplatte *T* in einiger Entfernung von dem Magneten gerichtet, so dass letzterer verhältnissmässig kalt bleibt. Diese Wärme wird unterhalb der Platte von den Brennern *H* geliefert und der Anker *A* oder

dessen Zapfen ist mit dem Gashahn 6 oder einer andern Vorrichtung zur Regulirung der Wärme verbunden. Da die Wärme auf den mittleren Theil der Platte *T* wirkt, wird die magnetische Leitungsfähigkeit des erwärmten Theiles vermindert oder aufgehoben und ein grosser Theil der Kraftlinien wird über den Anker *A* abgelenkt, der nunmehr kräftig angezogen und mit den Polen *NS* in eine Richtung oder nahezu in eine Richtung gestellt wird. Hierdurch wird der Hahn 6 beinahe geschlossen und die Platte *T* kühlt sich ab; die Kraftlinien gehen wieder sämmtlich durch sie hindurch, die auf den Anker *A* ausgeübte Anziehung wird geringer und die Feder *W* zieht den Anker *A* vom Magneten ab in die durch voll ausgezogene Linien dargestellte Stellung und das Spiel beginnt von Neuem. Die in Fig. 236 dargestellte Anordnung besitzt den Vortheil, dass der Magnet und der Anker kalt bleiben und die Stärke des permanenten Magneten besser erhalten bleibt, da der magnetische Stromkreis beständig geschlossen ist.




Fig. 236.

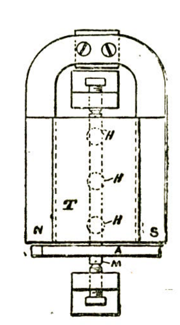


Fig. 237.

In Fig. 238 ist ein Dauermagnet und ein Hülfsanker *T*, ähnlich denen in Fig. 236 und Fig. 237, nebst den Gasbrennern *H* unterhalb des letzteren dargestellt. Der Anker *A* aber ist mit dem einen Ende an dem einen Pole des Magneten mittels Zapfens befestigt, während das andere Ende vor dem andern Pole des Magneten hin- und herschwingt. Die Feder *W* greift an einem aus dem Anker herausragenden Hebelarm an und die Wärmezufuhr wird theilweise durch eine Verbindung mit dem schwingenden Anker abgeschnitten, so dass die Wärmewirkung auf den Hülfsanker vermindert wird, wenn der Anker *A* angezogen worden ist.

Die in Fig. 239 dargestellte Anordnung ist derjenigen in Fig. 238 ähnlich, ausser dass der Hülfsanker *T* weggelassen ist und der Anker selbst hin- und herschwingt, so dass er der intensiven Wirkung der vom Brenner *H* ausgehenden Wärme bald mehr bald weniger ausgesetzt ist. Das Diagramm Fig. 240 ist dem in Fig. 231 ähnlich, nur dass, anstatt eine Feder und Anschläge zu benutzen, der Anker mittels eines Gelenkes mit der Kurbel eines Schwungrades verbunden ist, so dass sich das Schwungrad ebenso schnell herumdreht, als der Anker in dem erforderlichen Grade erhitzt und abgekühlt werden kann. Auch kann noch eine

Feder verwendet werden wie in Fig. 231. In Fig. 241 sind die Anker *A A* durch ein Gelenk derart verbunden, dass sich der eine erwärmt, während der andere sich abkühlt, und anstatt einer Feder wird die auf den sich abkühlenden Anker ausgeübte Anziehung gleichzeitig benutzt, um den erwärmten Anker von seinem Magneten abzuziehen.

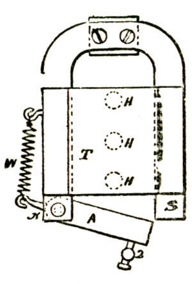
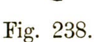



Fig. 238.

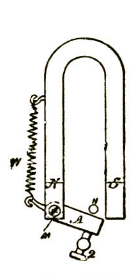
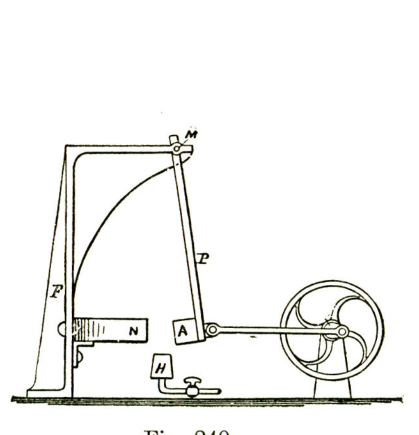


Fig. 239.

T e s l a hat seine Aufmerksamkeit auch der Herstellung eines pyromagnetischen Stromerzeugers*) gewidmet, der auf folgenden Gesetzen beruht: 1) dass Elektricität oder elektrische Energie in jedem leitenden Körper erzeugt wird, wenn man einen solchen Körper einem variirenden magnetischen Einflusse aussetzt; und 2) dass die magnetischen Eigenschaften des Eisens oder einer andern magnetischen Substanz durch Erhöhung der Temperatur derselben ganz oder theilweise zerstört oder aufgehoben, durch Erniedrigung der Temperatur derselben bis



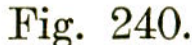


Fig. 240.

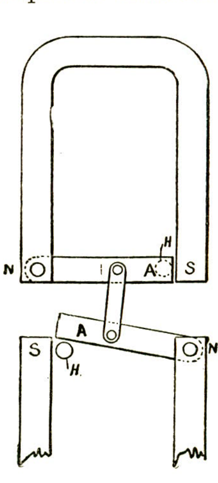


Fig. 241.

auf einen gewissen Grad aber wieder hergestellt werden können. Diese Gesetze können in mannigfaltiger Weise auf die Erzeugung elektrischer

*) Als Hauptpunkt ist hervorzuheben, dass T e s l a dieses Problem in einer Weise angriff, die sowohl von theoretischem wie technischem Standpunkte aus bei weitem besser war als die, von welcher einige früheren Versuche in dieser Rich-

Ströme angewandt werden; das Princip ist in allen Fällen dasselbe, nämlich dass man einen Leiter einem variirenden magnetischen Einflusse aussetzt, wobei diese Variationen des Magnetismus durch Wärme oder, genauer gesprochen, durch die Wirkung einer veränderlichen Temperatur auf die Quelle des Magnetismus erzeugt werden. Dieses Princip kann durch einen einfachen Versuch erläutert werden: Man bringe einen dauernd magnetisirten Stahlstab und einen Streifen oder eine Stange weichen Eisens mit ihren Enden an einander und zwar am besten so, dass sie sich wirklich berühren. Um das Ende der Eisenstange winde man eine Spule isolirten Drahtes. Dann setze man unter das Eisen zwischen die Spule und den Stahlstab eine Flamme oder andere Wärmequelle, welche die Temperatur jenes Theiles des Eisens auf ein orangefarbenes Roth oder auf etwa 600° C zu erhöhen vermag. Ist dieser Punkt erreicht, so verliert das Eisen, wenn es sehr dünn ist, ziemlich plötzlich seine magnetischen Eigenschaften, und es wird dieselbe Wirkung hervorgebracht, als ob das Eisen von dem Magnet entfernt oder der erhitzte Theil beseitigt worden wäre. Diese Veränderung der Lage ist jedoch von einer Verschiebung der Kraftlinien oder, mit andern Worten, einer Aenderung des magnetischen Einflusses, welchem die Spule ausgesetzt ist, begleitet, und infolgedessen entsteht ein Strom in der Spule. Man nehme dann die Flamme fort oder erniedrige auf irgend eine andere Weise die Temperatur des Eisens. Diese Temperaturerniedrigung ist von einer Rückkehr seiner magnetischen Eigenschaften begleitet und es tritt eine andere Aenderung des magnetischen Zustandes ein, die einen Strom in der Spule in entgegengesetzter Richtung zur Folge hat. Dieselbe Operation kann unbeschränkt wiederholt werden; die Wirkung auf die Spule würde derjenigen ähnlich sein, welche sich aus der Hin- und Herbewegung des Magnetstabes vor dem Ende der Eisenstange ergeben würde.

Der unten abgebildete Apparat ist ein Mittel zur Erreichung dieses Resultats; die Hauptneuheit in der Erfindung ist erstens die Anwendung einer künstlichen Kühlvorrichtung und zweitens die Einschliessung der

---

tung ausgingen. Die Erweiterung dieser Gedanken findet man in Tesla's Arbeiten über den pyromagnetischen Generator, von welchem das vorliegende Kapitel handelt. Das Hauptbestreben des Erfinders war auf eine ökonomische Verwerthung der Wärme gerichtet und er erreichte dies dadurch, dass er das Eisen in eine gut isolirte Wärmequelle einschloss, die Abkühlung des Eisens durch Dampf bewirkte und den Dampf von neuem verwerthete. Die Konstruktion gestattet auch schnellere magnetische Aenderungen in der Zeiteinheit, was eine grössere Leistung zur Folge hat.

Wärmequelle und des der Wärme ausgesetzten Theiles des magnetischen Stromkreises sowie die künstliche Abkühlung des erhitzten Theiles.

Diese Verbesserungen sind allgemein anwendbar auf die nach oben beschriebenem Plane gebauten Generatoren, d. h. man kann eine künstliche Kühlvorrichtung in Verbindung mit einer veränderlichen oder gleichmässigen Wärmequelle benutzen.

Fig. 242 ist ein centraler vertikaler Längsschnitt des vollständigen Apparates und Fig. 243 sellt einen Querschnitt des magnetischen Ankerkerns des Generators dar.

Es stelle A einen magnetisirten Kern oder einen permanenten Magneten dar, dessen Pole durch einen Ankerkern überbrückt sind, wel-

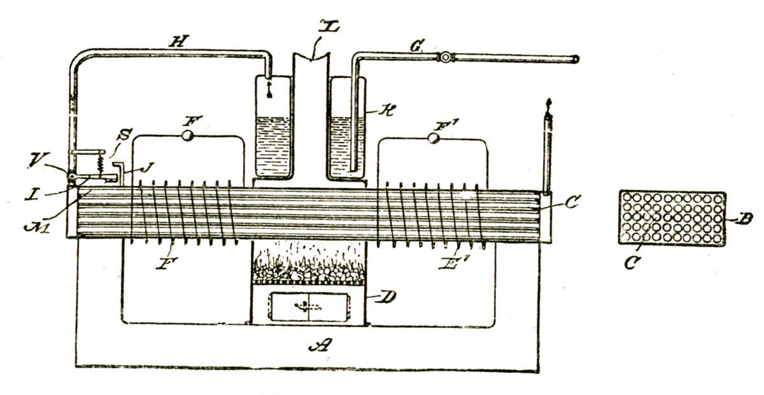


Fig. 242. Fig. 243.

cher aus einem eine Anzahl hohler Eisenröhren C enthaltenden Behälter B besteht. Um diesen Kern sind die Leiter EE' gewickelt, welche die Spulen bilden, in denen die Ströme entwickelt werden sollen. In die Stromkreise dieser Spulen sind Stromverbrauchsgegenstände FF' eingeschaltet.

D ist ein Ofen oder geschlossener Feuerkasten, durch welchen der mittlere Theil des Kernes B hindurchgeht. Ueber dem Feuer befindet sich ein Kessel K mit Wasser. Der Rauchfang L des Feuerkastens kann sich durch den Kessel hindurch erstrecken.

G ist ein Wasserleitungsrohr und H ist das Dampfablassrohr, welches mit allen in dem Anker B enthaltenen Röhren C kommunicirt, so dass der aus dem Kessel entweichende Dampf durch die Röhren hindurchströmt.

In dem Dampfablassrohr H befindet sich ein Ventil V, mit welchem der Hebel I verbunden ist, durch dessen Bewegung das Ventil geöffnet

oder geschlossen wird. In einem solchen Falle wie dieser kann die überschüssige Hitze des Feuers, welche nicht zur Erwärmung des Kernes *B* verbraucht wird, zu anderen Zwecken verwendet werden. Die Anwendung eines Kühlapparates, in welchem das Metall des Kernes *B* nicht so schnell oxydirt wird, besitzt besondere Vortheile. Ferner kann der Unterschied zwischen der Temperatur der Wärmequelle und des Dampfes, der Luft, oder welches Gas oder welche Flüssigkeit man auch als Abkühlungsmittel benutzen möge, beliebig vermehrt oder vermindert werden, wodurch eine Regulirung der Geschwindigkeit der magnetischen Aenderungen oder Fluktuationen ermöglicht wird.

---

37. Kapitel.

Funkenlose Dynamobürsten und Kommutatoren.

Bei Gleichstromdynamomaschinen von hoher Spannung, wie sie z. B. für Bogenlichtbeleuchtung benutzt werden, kann in dem Augenblicke, wo eine Kommutatorschiene ausser Berührung mit der Stromabnehmerbürste kommt, ein Funken am Kommutator auftreten. Dieser Funken kann von der Unterbrechung des ganzen Stromkreises oder von einem Nebenschluss von geringem Widerstande, der durch die Bürste zwischen zwei oder mehreren Kommutatorschienen gebildet wird, herrühren. Im ersten Falle ist der Funken auffälliger, da in dem Augenblicke, wo der Stromkreis unterbrochen wird, eine Entladung der Magnete durch die Feldspulen erfolgt, die einen bedeutenden Funken erzeugt, der einen unstetigen Strom, raschen Verbrauch der Kommutatorschienen und Bürsten und Energieverlust zur Folge hat. Das Funkensprühen kann durch verschiedene Vorrichtungen verringert werden, z. B. dadurch, dass man dem Strome in dem Augenblicke, wo das Kommutatorsegment oder die Kommutatorschiene die Bürste verlässt, einen andern Weg anweist, oder durch Kurzschliessung der Feldspulen oder durch Vermehrung der Zahl der Kommutatorschienen oder durch andere ähnliche Mittel; alle diese Vorrichtungen aber sind kostspielig oder nicht völlig ausnutzbar und erreichen selten den gewünschten Zweck.

Um das Funkensprühen in einfacher Weise zu verhindern, verwandte Tesla vor einigen Jahren bei Kommutatoren mit Zwischenlagen aus isolirendem Material Glimmer, Asbestpapier oder anderes isolirendes und unverbrennbares Material, welches derart angeordnet wurde, dass es dicht an und hinter der Bürste auf der Oberfläche des Kommutators auflag.

In den Abbildungen stellt Fig. 244 einen Schnitt eines Kommutators mit einer Asbestzwischenlage dar; Fig. 245 zeigt eine ähnliche Ansicht, in welcher zwei Glimmerplatten auf der Rückseite der Bürste erkennbar sind.

In Fig. 244 stellt *C* den Kommutator nebst isolirender Zwischenlage dar. *BB* sind die Bürsten. *dd* sind Streifen aus Asbestpapier oder anderem passenden nichtleitenden Material. *ff* sind Federn, deren Druck mittels der Schrauben *gg* regulirt werden kann.

In Fig. 245 ist eine einfache Anordnung mit zwei Platten aus Glimmer oder einem andern Material dargestellt. Wie man sieht, wird jedesmal, wenn ein Kommutatorsegment ausser Berührung mit der Bürste kommt, die Bildung eines Lichtbogens durch das zwischenliegende Isolirmaterial, welches mit dem Isolationsmaterial der Bürste in Kontakt kommt, verhütet.

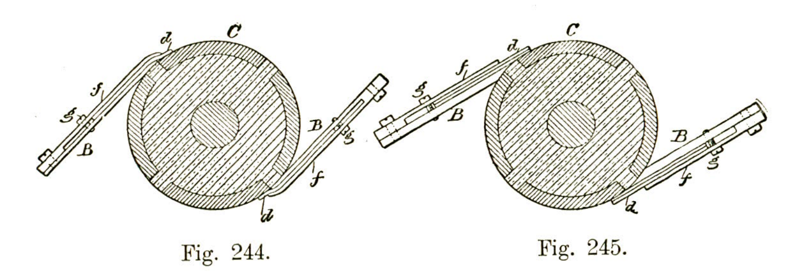


Fig. 244. Fig. 245.

Man kann Asbestpapier oder mit Zinkoxyd, Magnesia, Cirkonerde oder einer andern passenden Substanz imprägnirtes Tuch benutzen, da das Papier und Tuch weich sind und zugleich zum Putzen und Reinhalten des Kommutators dienen. Es kann jedoch auch Glimmer oder irgend ein anderes passendes Material verwandt werden, vorausgesetzt dass das Material ein Isolator oder schlechter Elektricitätsleiter ist.

Wenige Jahre später wandte Tesla seine Aufmerksamkeit wieder demselben Gegenstande zu, was um so natürlicher erscheint, als der Kommutator stets seine Gedanken in hervorragendem Maasse beschäftigt hatte und ein grosser Theil seiner Arbeiten dahin gerichtet war, diesen bedenklichen und unnöthigen Theil von Dynamomaschinen und Motoren völlig zu beseitigen. Bei diesen späteren Bemühungen, den durch den Kommutator verursachten Störungen zu begegnen, gelangte Tesla dahin, einen Kommutator und die Stromabnehmer in zwei Theilen zu konstruiren, die gegenseitig zu einander passend und in ihrem mechanischen Bau, soweit die wesentlichen Theile in Betracht kommen, einander gleich sind. Nehmen wir zur Erläuterung einen Kommutator mit zwei Seg-

menten, der bei einem Anker benutzt werden soll, dessen Spulen nur zwei respektive mit den Segmenten verbundene freie Enden haben, so ist die Schleiffläche die Fläche einer Scheibe und wird gebildet aus zwei metallischen Quadranten und zwei isolirenden Segmenten von gleichen Dimensionen, und die Fläche der Scheibe ist abgeschliffen, so dass die metallischen und isolirenden Segmente glatt sind. Der Theil, welcher die Rolle der gewöhnlichen Bürsten spielt, oder der „Kollektor", ist eine Scheibe von derselben Art wie der Kommutator und besitzt eine Oberfläche, die in ähnlicher Weise aus zwei isolirenden und zwei metallischen Segmenten besteht. Diese beiden Theile sind derart montirt, dass sie sich mit ihren Flächen berühren und dass die Rotation des Ankers den Kommutator auf dem Kollektor in Drehung versetzt, wobei die in den Spulen inducirten Ströme von den Kollektorsegmenten abgenommen und von diesen durch passende Leiter fortgeführt werden. Dies ist im Allgemeinen der Plan der angewandten Konstruktion. Abgesehen von gewissen Nebenumständen, deren Beschaffenheit und Funktion später auseinandergesetzt werden wird, besitzt diese Art der Stromwendung offenbar viele wichtige Vortheile. In erster Linie erfolgt die Kurzschliessung und Unterbrechung der mit den Kommutatorsegmenten verbundenen Ankerspule in demselben Augenblicke und, wie aus der Konstruktionsart sich ergiebt, mit der grössten Präcision. Zweitens ist die Dauer sowohl der Unterbrechung wie des Kurzschlusses auf ein Minimum reducirt. Der erste Umstand hat eine Verminderung des Funkensprühens zur Folge, die praktisch als völlige Beseitigung desselben gelten kann, da das Unterbrechen und Kurzschliessen entgegengesetzte Wirkungen in der Ankerwickelung hervorbringt. Der zweite Umstand bewirkt eine Verminderung der zerstörenden Wirkung eines Funkens, da diese in gewissem Grade der Dauer des Funkens proportional sein würde, während die Verringerung der Dauer des Kurzschlusses offenbar die Leistungsfähigkeit der Maschine erhöht.

Die mechanischen Vortheile werden durch Hinweis auf die beistehenden Diagramme besser ersichtlich werden. In Fig. 246 ist ein centraler Längsschnitt des Endes einer Welle mit dem verbesserten an letzterer befestigten Kommutator dargestellt. Fig. 247 ist eine Ansicht der Innen- oder Schleiffläche des Kollektors. Fig. 248 ist eine Endansicht einer modificirten Form des Kommutators von der Ankerseite aus. Die Figuren 249 und 250 stellen Einzelheiten der Fig. 248 dar. Fig. 251 ist ein centraler Längsschnitt einer anderen Modifikation und Fig. 252 eine Schnittansicht derselben. A ist das Ende der Ankerwelle einer dynamoelektrischen Maschine oder eines Motors. A' ist eine Muffe

um die Welle aus isolirendem Material, welche durch die Schraube a' festgehalten wird.

Der eigentliche Kommutator besitzt die Form einer Scheibe, welche aus vier Segmenten $D D'$ $G G'$ ähnlich den in Fig. 248 dargestellten

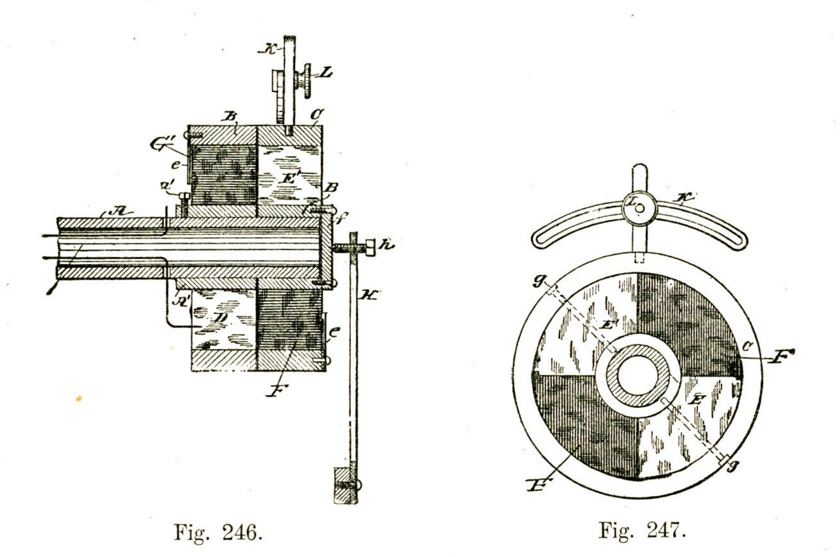


Fig. 246. Fig. 247.

besteht. Zwei dieser Segmente, z. B. $D D'$, sind aus Metall und in elektrischer Verbindung mit den Enden der Ankerspulen. Die andern beiden Segmente bestehen aus isolirendem Material. Die Segmente werden durch ein Band aus Isolirmaterial B festgehalten. Die Scheibe

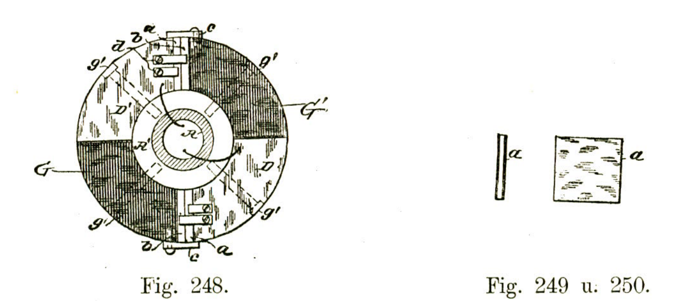


Fig. 248. Fig. 249 u. 250.

wird durch Reibung oder Schrauben g' g' (Fig. 248), welche sie fest mit der Muffe A' verbinden, in ihrer Lage festgehalten.

Der Kollektor besitzt dieselbe Form wie der Kommutator. Er besteht aus den beiden Metallsegmenten $E E'$ und den beiden isolirenden Segmenten $F F'$, die durch ein Band C zusammengehalten werden. Die

metallischen Segmente *E E'* haben dieselbe oder nahezu dieselbe Breite wie die isolirenden Segmente des Kommutators. Der Kollektor ist mittels Schrauben *g g* an einer Muffe befestigt und die Muffe ist derart angeordnet, dass sie frei um die Welle *A* sich drehen kann. Das Ende der Muffe *B'* ist durch eine Platte *f* geschlossen, auf welche eine Zapfenschraube *h* drückt. Letztere ist in einer Feder *H* regulirbar, durch welche der Kollektor in engem Kontakt mit dem Kommutator gehalten und das Spiel der Welle kompensirt wird. Der Kollektor ist so befestigt, dass er sich nicht mit der Welle drehen kann. Das Diagramm zeigt z. B. eine Platte *K* mit einem Schlitz, die an einem stationären Träger anzubringen ist, und einen Arm, der vom Kollektor ausgeht und eine Klemmschraube *L* trägt, durch welche der Kollektor adjustirt und in die gewünschte Lage gebracht werden kann.

Tesla zieht es vor, nach der in den Fig. 246 und 247 dargestellten Art die isolirenden Segmente des Kommutators sowohl wie des Kollektors lose anzubringen und irgend ein Mittel — z. B. schwache Federn *e e*, welche an den Bändern *A' B'* respektive befestigt sind und gegen die Segmente drücken — anzuwenden, um einen leichten Druck auf dieselben auszuüben, dieselben in engem Kontakt zu halten und die Abnutzung zu kompensiren. Die Metallsegmente des Kommutators können durch Lockerung der Schraube *a'* vorgeschoben werden.

Die Liniendrähte werden von den Metallsegmenten des Kollektors gespeist, mit denen sie in passender Weise verbunden sind. Die Art der Verbindungen bei einer modificirten Form des Kommutators ist aus Fig. 251 ersichtlich. Durch die ebenen und glatten Schleifflächen, welche Kommutator und Kollektor darbieten, wird durch mechanische Wirkung das Auftreten von Funken in vollkommenster Weise verhütet.

Die isolirenden Segmente sind aus irgend einem harten Material hergestellt, welches polirfähig ist und scharfrandig geschnitten werden kann. Materialien wie Glas, Marmor oder Speckstein können vortheilhaft verwendet werden. Die Metallsegmente werden am besten aus Kupfer oder Messing hergestellt; sie können aber auch eine Einfassung oder einen Rand aus dauerhaftem Material, z. B. Platin oder dergleichen, erhalten, wo das Auftreten von Funken zu erwarten ist.

In Fig. 248 ist eine etwas modificirte Form der Erfindung dargestellt, durch welche die Herstellung und Auswechselung der Theile erleichtert werden soll. Bei dieser Modifikation sind der Kommutator und Kollektor im Wesentlichen in der vorher beschriebenen Weise konstruirt, nur dass die Bänder *B C* weggelassen sind. Die vier Segmente jedes Theiles sind jedoch an ihren respektiven Muffen mittels Schrauben *g' g'*

befestigt und eine Ecke jedes Segmentes ist weggeschnitten, so dass kleine Platten *a b* in die so gebildeten Räume eingeschoben werden können. Von diesen Platten sind die einen *a a* aus Metall und sind bezüglich mit den Metallsegmenten *D D'* in Kontakt. Die andern beiden Platten *b b* bestehen aus Glas oder Marmor; die Platten sind, wie aus Fig. 249 und 250 ersichtlich, sämmtlich quadratisch, so dass sie herumgedreht werden können, wenn ein Rand durch den Gebrauch abgenutzt sein sollte. Auf diese Platten drücken kleine Federn *d*, welche die Platten des Kommutators und des Kollektors gegeneinander pressen, und an dem Umfange der Scheiben sind isolirende Streifen *c c* angebracht, durch welche das Herausfliegen der Scheibchen infolge der Centrifugalkraft verhindert werden soll. Natürlich sind solche Platten nur an denjenigen

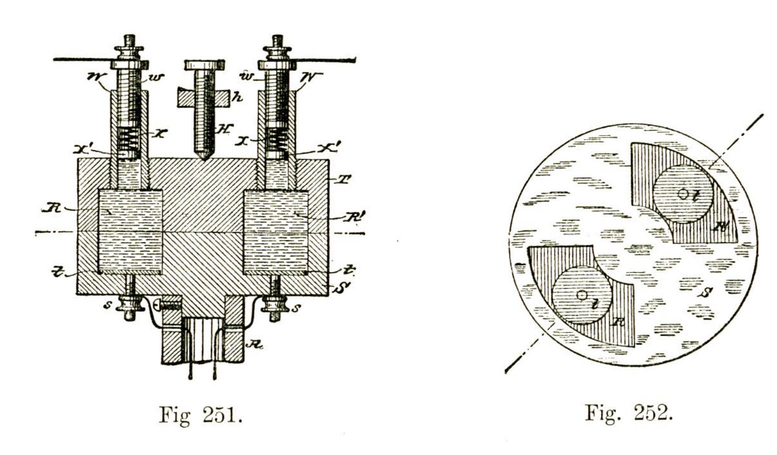


Fig 251. Fig. 252.

Rändern der Segmente von Nutzen, wo das Auftreten von Funken zu erwarten ist, und da sie leicht ersetzt werden können, so sind sie von bedeutendem Vortheil. Man thut am besten, dieselben mit Platin oder Silber zu bedecken.

In den Fig. 251 und 252 ist eine Konstruktion dargestellt, bei welcher an Stelle von festen Segmenten eine Flüssigkeit verwendet ist. In diesem Falle besteht der Kommutator und der Kollektor aus zwei isolirenden Scheiben *S T*, aus denen an Stelle der Metallsegmente je ein Theil ausgeschnitten ist wie bei *R* und *R'*, der in Form und Grösse einem Metallsegmente entspricht. Die beiden Theile sind glatt aneinander gefügt und der Kollektor *T* wird durch die Schraube *h* und Feder *H* gegen den Kommutator *S* gedrückt. Wie in den andern Fällen rotirt der Kommutator, während der Kollektor stationär bleibt. Die Enden der Spulen sind mit Klemmschrauben *s s* verbunden, welche mit den in

den Ausschnitten der beiden Theile *S T* liegenden Metallplatten *t t* in elektrischer Verbindung stehen. Diese Kammern oder Ausschnitte sind mit Quecksilber gefüllt, und in dem Kollektortheile befinden sich Röhren *W W* mit Schrauben *w w*, welche Federn *X* und Kolben *X'* tragen, durch welche die Ausdehnung und Zusammenziehung des Quecksilbers bei verschiedenen Temperaturen kompensirt wird, die aber stark genug sind, um dem von der Centrifugalkraft herrührenden Drucke der Flüssigkeit nicht nachzugeben, und die zugleich als Klemmschrauben dienen.

In allen obengenannten Fällen sind die Kommutatoren für eine einzige Spule berechnet und für solche Zwecke ist die Vorrichtung insbesondere geeignet. Die Zahl der Segmente kann jedoch vergrössert werden, oder es kann mehr als ein Kommutator mit einem einzigen Anker verwendet werden. Obwohl die Schleifflächen als zu der Achse oder Welle senkrechte Ebenen dargestellt sind, ist doch ersichtlich, dass die Konstruktion in diesem besonderen Punkte mannigfach abgeändert werden kann.

---

38. Kapitel.

Regulirung der Gleichstromdynamomaschinen mittels einer Hülfsbürste.

Eine interessante von Tesla angegebene Methode für die Regulirung der Gleichstromdynamos ist die unter dem Namen der Methode der dritten Bürste bekannte Methode. Bei Maschinen dieser Art, welche von ihm schon im Jahre 1885 gebaut wurden, benutzte er zwei Hauptbürsten, mit denen die Enden der Feldmagnetwickelungen verbunden wurden, eine Hülfsbürste und eine Zweig- oder Nebenschlussverbindung zwischen einem mittleren Punkte der Feldmagnetwickelung und der Hülfsbürste.*)

*) Der Verfasser hat zum Theil aus Behauptungen, die bei verschiedenen Gelegenheiten in Journalen gemacht wurden, und zum Theil durch persönliche Nachfrage bei Tesla erfahren, dass ein grosser Theil der auf diesem interessanten Gebiete ausgeführten Arbeiten noch nicht veröffentlicht ist. Bei diesen Erfindungen werden die Bürsten, wie man bemerken wird, automatisch verstellt, aber bei der allgemeinen Methode, die hier bloss angedeutet wird, wird die Regulirung ohne irgend welche Aenderung in der Lage der Bürsten bewirkt. Diese Erfindung der dritten Bürste wurde bekanntlich vor einigen Jahren sehr viel erörtert; es dürfte daher interessiren, die bezüglichen Arbeiten Tesla's, der damals noch ziemlich unbekannt war, hier veröffentlicht zu sehen.

Die relativen Stellungen der betreffenden Bürsten werden entweder automatisch oder von Hand variirt, so dass der Nebenschluss unwirksam wird, wenn die Hülfsbürste eine gewisse Lage auf dem Kommutator einnimmt; wird aber die Hülfsbürste in ihrer relativen Lage zu den Hauptbürsten verschoben oder werden die letzteren relativ zur Hülfsbürste verstellt, so wird der elektrische Zustand gestört und es wird ein grösserer oder geringerer Theil des durch die Feldspulen fliessenden Stromes durch den Nebenschluss abgezweigt oder es wird ein Strom über den Nebenschluss nach den Feldspulen geschickt. Durch automatische Veränderung der relativen Lagen der betreffenden Bürsten auf dem Kommutator entsprechend den sich ändernden elektrischen Verhältnissen des Arbeitsstromkreises kann der erzeugte Strom je nach den Bedürfnissen im Arbeitsstromkreise regulirt werden.

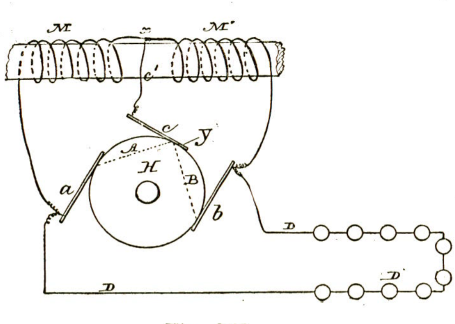


Fig. 253.

Fig. 253 ist ein Diagramm zur Erläuterung der Erfindung, welches den einen Feldmagnetkern mit einer Spule zeigt, die überall in derselben Richtung gewickelt ist. In den Fig. 254 und 255 ist je ein Kern der Feldmagnete mit einem Theile der in entgegengesetzter Richtung gewickelten Spulen dargestellt. Die Fig. 256 und 257 veranschaulichen die elektrischen Vorrichtungen, welche zur automatischen Regulirung der Bürsten verwendet werden können, und Fig. 258 erläutert die Stellungen der Bürsten, wenn die Maschine beim Anlaufen erregt wird.

a und *b* sind die positive und negative Bürste des Haupt- oder Arbeitsstromkreises, und *c* ist die Hülfsbürste. Der Arbeitsstromkreis *D* geht wie gewöhnlich von den Bürsten *a* und *b* aus und enthält elektrische Lampen oder andere Apparate *D'* entweder in Hintereinander- oder in Parallelschaltung.

MM' stellen die Feldspulen dar, deren Enden mit den Hauptbürsten *a* und *b* verbunden sind. Die Zweig- oder Nebenschlussleitung *c'* geht von der Hülfsbürste *c* nach dem Stromkreis der Feldspulen und ist mit demselben in einem mittleren Punkte *x* verbunden.

H stellt den Kommutator mit den Platten von gewöhnlicher Konstruktion dar. Wenn die Hülfsbürste *c* eine solche Lage auf dem Kommutator einnimmt, dass sich die elektromotorische Kraft zwischen den

Bürsten a und c zur elektromotorischen Kraft zwischen den Bürsten c und b wie der Widerstand des Stromkreises $a\,M\,c'\,c\,A$ zum Widerstande des Stromkreises $b\,M'\,c'\,c\,B$ verhält, so werden die Spannungen an den Punkten x und y gleich sein, und es wird kein Strom über die Hülfsbürste fliessen. Wenn dagegen die Bürste c eine andere Lage einnimmt, so werden die Spannungen der Punkte x und y verschieden sein, und es wird ein Strom über die Hülfsbürste fliessen und zwar entweder nach dem Kommutator hin oder von demselben weg, je nach der relativen Lage der Bürsten. Wird z. B. der Kommutatorzwischenraum zwischen den Bürsten a und c, falls die letztere am neutralen Punkte anliegt, verringert, so wird ein Strom vom Punkte y über den Nebenschluss c nach der Bürste b fliessen und dadurch den Strom in dem

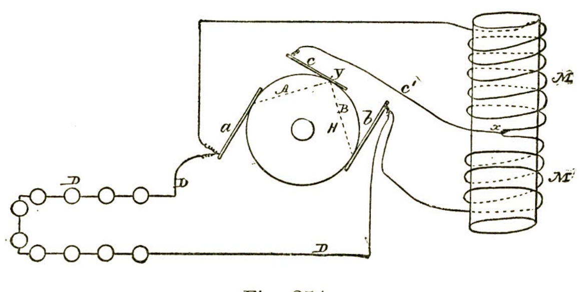


Fig. 254.

Theile M' verstärken und den Strom in dem Theile M theilweise neutralisiren; wird dagegen der Zwischenraum zwischen den Bürsten a und c vergrössert, so wird der Strom über die Hülfsbürste in entgegengesetzter Richtung fliessen, und es wird der Strom in M verstärkt, in M' dagegen theilweise neutralisirt werden.

Verbindet man mit den Bürsten a, b und c irgend eine der gewöhnlichen automatischen Regulirvorrichtungen, so kann der erzeugte Strom den Bedürfnissen im Arbeitsstromkreise entsprechend regulirt werden. Die Theile M und M' der Feldmagnetwickelung können in derselben Richtung gewickelt werden; in diesem Falle sind sie, wie in Fig. 253 dargestellt, angeordnet. Oder der Theil M kann in entgegengesetzter Richtung wie M' gewickelt werden, wie aus den Fig. 254 und 255 ersichtlich ist.

Es ist klar, dass die bezüglichen Kerne der Feldmagnete der neutralisirenden bezw. verstärkenden Wirkung des durch den Nebenschluss c' gehenden Stromes ausgesetzt sind und dass der Magnetismus der Kerne zum Theil aufgehoben oder die Punkte des grössten Magnetismus ver-

schoben werden, so dass sie sich mehr oder weniger von dem Anker entfernen bezw. demselben nähern; hiernach werden auch die vereinigten magnetisirenden Wirkungen der Feldmagnete auf den Anker entsprechend variirt werden.

Bei der in Fig. 253 dargestellten Form wird die Regulirung durch Verschiebung des Punktes maximaler Magnetisirung bewirkt und in den Fig. 254 und 255 wird derselbe Effekt erzielt durch die Wirkung des Stromes in dem Nebenschluss, welcher durch die neutralisirende Spule geht.

Die relativen Lagen der betreffenden Bürsten können durch Verstellung der Hülfsbürste variirt werden, oder die Hülfsbürste *c* kann stationär bleiben und der Kern *P* mit dem Hauptbürstenhalter *A* derart

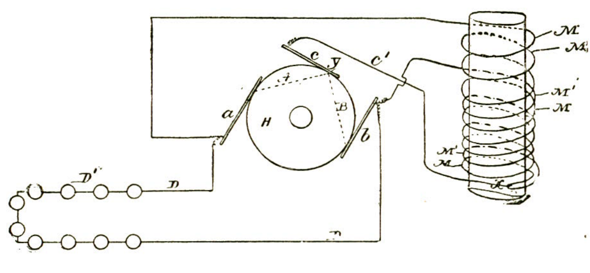


Fig. 255.

verbunden werden, dass die Bürsten *a b* in ihrer Lage zur Bürste *c* regulirt werden. Wird jedoch, wie in Fig. 257, die Regulirung auf alle Bürsten angewendet, so sollte das Solenoid sowohl mit *a* als mit *c* verbunden werden, um dieselben einander nähern oder von einander entfernen zu können.

Es sind verschiedene Vorrichtungen bekannt, um eine einem elektrischen Strome proportionale Bewegung hervorzubringen. In den Fig. 256 und 257 sind bequeme Anordnungen der beweglichen Kerne dargestellt, durch welche sich die gewünschte Bewegung mit nur geringen Aenderungen in dem die Spulen durchfliessenden Strome erreichen lässt. Natürlich verursacht die Regulirung der Hauptbürsten Veränderungen in der Stärke der Stromes unabhängig von der relativen Lage dieser Bürsten zu der Hülfsbürste. In allen Fällen sollte die Regulirung derart sein, dass kein Strom über die Hülfsbürste fliesst, wenn die Dynamo bei normaler Belastung läuft.

In den Fig. 256 und 257 bedeuten *A A* die Hauptbürstenhalter, welche die Hauptbürsten tragen, und *C* den Hülfsbürstenhalter, der die

Hülfsbürste trägt. Diese Bürstenhalter bewegen sich in mit der Kommutatorwelle koncentrischen Kreisbogen. An dem Hülfsbürstenhalter C ist ein Eisenkern P für das Solenoid S (Fig. 256) angebracht. Die Regulirung geschieht mittels einer Feder und Schraube.

In Fig. 257 ist anstatt eines Solenoids eine eiserne eine Spule einschliessende Röhre dargestellt. Der Kern der Spule ist an beiden Bürstenhaltern $A A$ und C befestigt. Werden die Bürsten, wie in Fig. 256 und 257, direkt durch elektrische Vorrichtungen bewegt, so sind dieselben derart konstruirt, dass die behufs Regulirung ausgeübte Kraft durch die ganze Länge der Bewegung praktisch gleichmässig ist.

Allerdings sind Hülfsbürsten in Verbindung mit den Spulen der Feldmagnetwickelung schon früher benutzt worden; in diesen Fällen aber

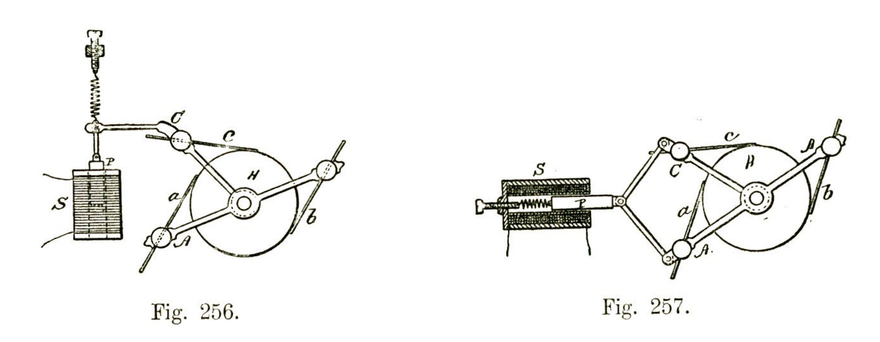


Fig. 256. Fig. 257.

erhielten die Spulen den ganzen durch die Hülfsbürste oder -Bürsten gehenden Strom und diese Bürsten konnten, ohne den Stromkreis durch die Feldmagnete zu unterbrechen, nicht abgenommen werden. Ferner verursachen diese Bürsten starkes Funkensprühen am Kommutator. Im vorliegenden Falle dagegen verursacht die Hülfsbürste wenig oder gar keine Funken und kann abgenommen werden, ohne den Stromkreis durch die Feldspulen zu unterbrechen. Die Anordnung hat überdies den Vortheil, die Selbsterregung der Maschine in allen Fällen zu erleichtern, wo der Widerstand der Feldspule sehr gross ist im Vergleich zum Widerstande des Hauptstromkreises beim Angehen, wie z. B. bei Bogenlichtmaschinen. In diesem Falle wird die Hülfsbürste c in die Nähe oder noch besser in Berührung mit der Bürste b gebracht, wie in Fig. 258 angedeutet ist. Auf diese Weise ist der Theil M' vollständig ausgeschaltet, und da der Theil M einen erheblich geringeren Widerstand hat als die ganze Länge des Feldmagnetdrahtes, so erregt sich die Maschine selbst, worauf die Hülfsbürste automatisch in ihre normale Lage verschoben wird.

Bei einer andern von Tesla angegebenen Methode werden eine oder mehrere Hülfsbürsten angewendet, mittels deren ein Theil der Feldspulen oder die ganze Feldmagnetwickelung in einen Nebenschluss gelegt wird. Je nach der relativen Lage der betreffenden Bürsten auf dem Kommutator wird mehr oder weniger Strom durch die Spulen der Feldmagnete geschickt, und der von der Maschine erzeugte Strom kann durch Veränderung der relativen Lagen der Bürsten nach Belieben variirt werden.

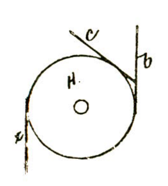


Fig. 258.

In Fig. 259 sind a und b die positive und negative Bürste des Hauptstromkreises und c eine Hülfsbürste. Der Hauptstromkreis D geht, wie gewöhnlich, von den Bürsten a und b aus und enthält die Wickelungen M der Feldmagnete sowie die elektrischen Lampen und anderen Stromverbrauchsapparate. Die Hülfsbürste c ist mit dem Punkte x des Hauptstromkreises mit Hülfe des Drahtes c' verbunden. H ist ein Kommutator gewöhnlicher Konstruktion. Aus dem bereits Gesagten wird ersichtlich sein, dass, wenn die elektromotorische Kraft zwischen den Bürsten a und c sich zu der elektromotorischen Kraft zwischen den Bürsten c und b wie der Widerstand des Stromkreises $a\,M\,c'\,c\,A$ zum Widerstande des Stromkreises $b\,C\,B\,c\,c'\,D$ verhält, die Spannungen an den Punkten x und y gleich sind, und kein Strom über die Hülfsbürste c geht; wenn dagegen diese Bürste eine andere Lage relativ zu den Hauptbürsten einnimmt, so ist der elektrische Zustand gestört, und es fliesst Strom entweder von y nach x oder von x nach y, je nach der relativen Lage der Bürsten. Im ersten Falle wird der Strom durch die Feldspulen theilweise neutralisirt, und der Magnetismus der Feldmagnete wird verringert. Im zweiten Falle wird der Strom vermehrt, und die Feldmagnete werden stärker. Kombinirt man mit den Bürsten $a\,b\,c$ irgend einen automatischen Regulirmechanismus, so kann der erzeugte Strom den Bedürfnissen des Arbeitsstromkreises entsprechend automatisch regulirt werden.

In den Fig. 264 und 265 sind einige der automatischen Vorrichtungen dargestellt, welche zur Bewegung der Bürsten benutzt werden können. Der Kern P des Solenoids S, Fig. 264, ist mit der Bürste c derart verbunden, dass er dieselbe verstellen kann, und in Fig. 265 ist der Kern P innerhalb der Spule S dargestellt und mit den Bürsten a und c derart verbunden, dass er dieselben einander nähern oder von einander entfernen kann, je nach der Stärke des Stromes in der Spule. Die Spule befindet sich in einem eisernen Cylinder S', welcher magnetisirt wird und die Wirkung des Solenoids verstärkt.

In der Praxis reicht es aus, wenn man, wie in Fig. 264 dargestellt, nur die Hülfsbürste bewegt, da die Regulirung gegen die geringsten Aenderungen äusserst empfindlich ist; jedoch kann die relative Lage der Hülfsbürste zu den Hauptbürsten auch durch Bewegung der Hauptbürsten geändert werden, oder es können sowohl die Hauptbürsten

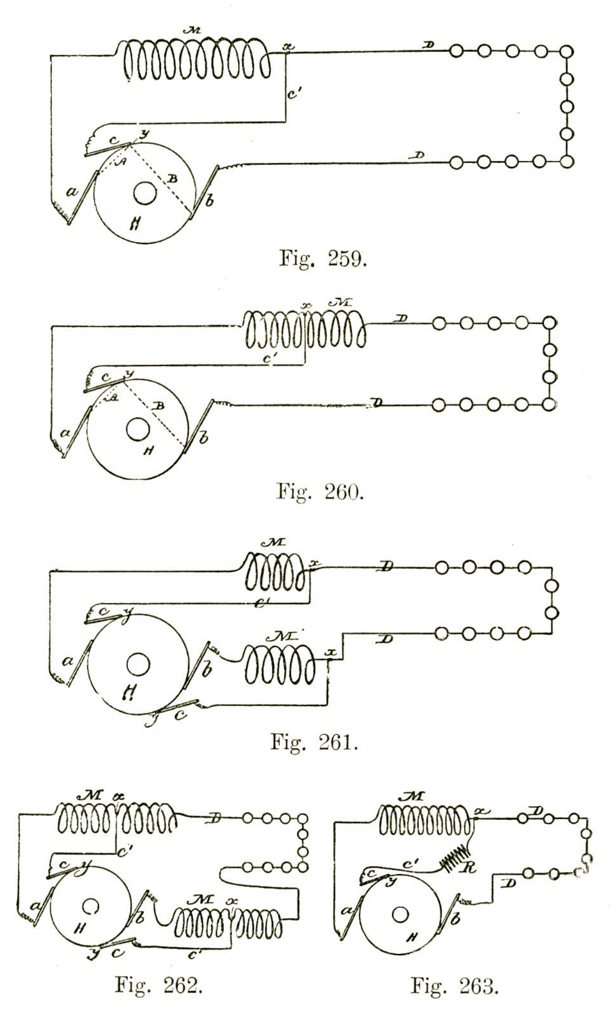


Fig. 259.

Fig. 260.

Fig. 261.

Fig. 262.

Fig. 263.

wie die Hülfsbürste bewegt werden, wie aus Fig. 265 ersichtlich ist. In den letzteren beiden Fällen verursacht natürlich die Bewegung der Hauptbürsten relativ zur neutralen Linie der Maschine Veränderungen in der Stromstärke unabhäng von ihrer relativen Lage zu der Hülfsbürste. In allen Fällen soll die Regulirung derart sein, dass, wenn

die Maschine unter normaler Belastung läuft, kein Strom über die Hülfsbürste fliesst.

Die Feldspulen können so, wie in Fig. 259 dargestellt, geschaltet oder es kann ein Theil derselben in den abgehenden Stromkreis, der andere Theil in die Rückleitung eingeschaltet werden; auch kann man, wie in Fig. 261 und 262, zwei Hülfsbürsten verwenden. Anstatt die ganze Wickelung der Feldmagnete nebenzuschliessen, kann man auch nur einen Theil derselben in den Nebenschluss legen, wie dies in den Fig. 260 und 262 dargestellt ist.

Die in Fig. 262 dargestellte Anordnung ist vortheilhaft, da sie das Funkensprühen am Kommutator vermindert, indem der Hauptstromkreis im Augenblick der Unterbrechung desselben an den Hauptbürsten durch die Hülfsbürsten geschlossen ist.

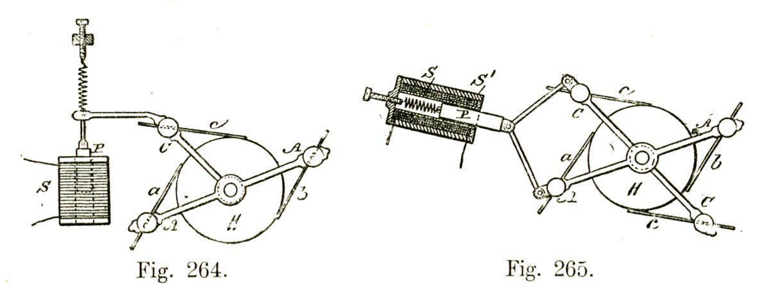


Fig. 264. Fig. 265.

Die Feldmagnetspulen können entweder ganz in derselben Richtung oder zum Theil in entgegengesetzten Richtungen gewickelt werden.

Die Verbindung zwischen den Spulen und der Hülfsbürste oder den Hülfsbürsten kann durch einen Draht von geringem Widerstande hergestellt oder es kann ein Widerstand (*R* Fig. 263) zwischen den Punkt *x* und die Hülfsbürste oder die Hülfsbürsten eingeschaltet werden, um die Empfindlichkeit zu theilen, wenn die Bürsten einregulirt sind.

In den nachfolgenden Skizzen sind auch einige Verbesserungen veranschaulicht, welche Tesla an den mechanischen Vorrichtungen zur Verstellung der Bürsten bei Verwendung einer Hülfsbürste anbrachte. Fig. 266 ist ein Aufriss des Regulators nebst Gestell, das zum Theil im Schnitt dargestellt ist. Fig. 267 zeigt einen Schnitt in der Linie *x x* Fig. 266. *C* ist der Kommutator; *B* und *B'* sind die Bürstenhalter und zwar trägt *B* die Hauptbürsten *a a'* und *B'* die Hülfsbürsten *b b'*. Die Achse des Bürstenhalters *B* wird von zwei Zapfenschrauben *p p* getragen. Der andere Bürstenhalter *B'* hat eine Muffe *d* und ist um die Achse des Bürstenhalters *B* beweglich. Auf diese Weise können sich beide Bürstenhalter ziemlich frei drehen, da die Reibung der Theile auf ein Minimum

reducirt ist. Ueber den Bürstenhaltern ist das Solenoid S angebracht, welches auf der Gabel c ruht. Diese Gabel bildet auch das Lager für die Zapfen $p\,p$ und ist auf einem massiven Fortsatz P, welcher aus der Grundplatte der Maschine hervorragt und in einem Stück mit derselben gegossen ist, befestigt. Die Bürstenhalter $B\,B'$ sind mittels der Gelenke $e\,e$ und des Querstückes F mit dem Eisenkerne I verbunden, welcher frei in dem Cylinder T des Solenoids gleitet. Der Eisenkern I besitzt eine Schraube s, durch welche er gehoben und in seiner Lage relativ zu dem Solenoid derart regulirt werden kann, dass die auf ihn von dem Solenoid ausgeübte Anziehung über die ganze Strecke der Bewegung,

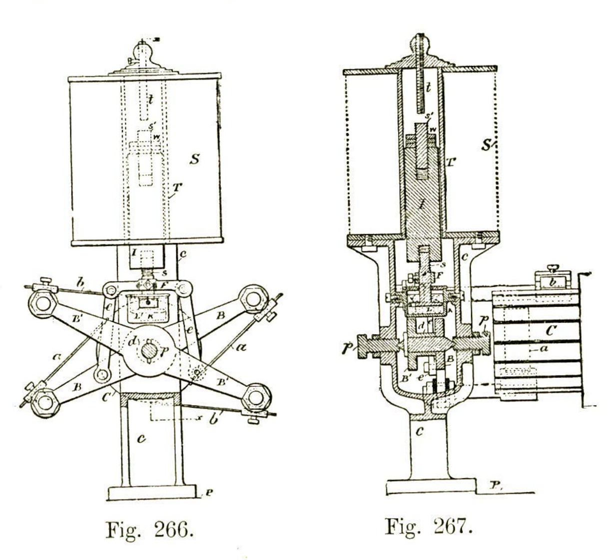


Fig. 266. Fig. 267.

welche zur Ausführung der Regulirung erforderlich ist, praktisch gleichmässig ist. Um die Regulirung mit grosser Genauigkeit auszuführen, ist der Kern I mit einer kleinen eisernen Schraube s' versehen. Nachdem der Kern zunächst mittels der Schraube s nahezu in die gewünschte Lage relativ zum Solenoide gebracht ist, wird mittels der kleinen Schraube s' genauer regulirt, bis die magnetische Anziehung auf den Kern in jeder Lage desselben die nämliche ist. Eine passende Hemmung t dient dazu, die Aufwärtsbewegung des Eisenkernes zu begrenzen.

Um die Bewegung des Kernes I etwas abzumildern, wird ein Dämpfungsgefäss K benutzt. Der Kolben L des Gefässes ist mit einem Ventil V versehen, welches sich bei einem Druck nach unten öffnet und eine sanfte Abwärtsbewegung des Eisenkernes I gestattet, aber sich schliesst

und die Bewegung des Kernes mildert, wenn derselbe durch die Wirkung des Solenoids nach oben gezogen wird.

Um die einander entgegenwirkenden Kräfte, das Gewicht der beweglichen Theile und den von dem Solenoid auf den Eisenkern ausgeübten Zug, zu balanciren, werden Gewichte *W W* benutzt. Die Regulirung ist derart, dass, wenn das Solenoid vom normalen Strome durchflossen wird, die Schwere der Theile gerade ausbalancirt ist.

Die elektrischen Verbindungen sind im Wesentlichen dieselben wie in den vorhergehenden Diagrammen; das Solenoid ist in Serie in den Stromkreis eingeschaltet, wenn die Stromverbrauchsapparate hinter einander geschaltet sind, und befindet sich im Nebenschluss, wenn die Apparate parallel geschaltet sind. Die Vorrichtung funktionirt folgendermassen: Wenn infolge einer Abnahme des Widerstandes des Stromkreises oder aus irgend welchen andern Gründen der Strom wächst, nimmt die Stärke des Solenoids *S* zu und zieht den Eisenkern *I* in die Höhe, wodurch die Hauptbürsten in der Rotationsrichtung und die Hülfsbürste in entgegengesetzter Richtung verstellt werden. Hierdurch wird die Stärke des Stromes verringert, bis die einander entgegenwirkenden Kräfte ins Gleichgewicht kommen und das Solenoid vom normalen Strome durchflossen wird. Wird aber aus irgend einem Grunde der Strom in dem Stromkreise kleiner, so überwiegt das Gewicht der beweglichen Theile die Anziehung des Solenoids, der Eisenkern *I* sinkt herab, die Bürsten werden in entgegengesetzter Richtung verschoben und der Strom nimmt bis zur normalen Stärke zu. Das mit dem Eisenkern *I* verbundene Dämpfungsgefäss (Oeltopf) kann von gewöhnlicher Konstruktion sein; indessen ist es besser, besonders bei Bogenlichtmaschinen, den Kolben desselben mit einem Ventil zu versehen, wie in dem Diagramme angedeutet. Dieses Ventil gestattet eine verhältnissmässig leichte Abwärtsbewegung des Eisenkernes, mildert aber seine Bewegung, wenn er von dem Solenoide aufwärts gezogen wird. Eine derartige Anordnung hat den Vortheil, dass eine grosse Anzahl von Lichtern, ohne die Leuchtkraft der Lampen im Stromkreise zu verringern, eingeschaltet werden kann, da die Bürsten sofort die geeignete Stellung einnehmen. Werden Lichter ausgeschaltet, so bewirkt der Oeltopf eine Verlangsamung der Bewegung; wird aber der Strom erheblich verstärkt, so wird die Kraft des Solenoids abnorm gross und die Bürsten werden augenblicklich verstellt. Ist der Regulator passend eingestellt, so können Lichter oder andere Apparate ein- oder ausgeschaltet werden ohne irgend wahrnehmbaren Unterschied. Offenbar kann statt des hier benutzten Oeltopfes irgend eine andere Dämpfungsvorrichtung verwendet werden.

---

39. Kapitel.

Verbesserung in der Konstruktion von Dynamomaschinen und Motoren.

Diese Erfindung Tesla's, welche eine Verbesserung in der Konstruktion von dynamo- oder magnetoelektrischen Maschinen oder Motoren darstellt, besteht in einer neuen Form des Gestells und des Feldmagneten, durch welche die Maschine solider und kompakter in ihrem Bau wird, welche ferner weniger Theile erfordert und weniger Störungen und eine Verringerung der Herstellungskosten zur Folge hat. Dieselbe ist auf Generatoren und Motoren überhaupt anwendbar, nicht bloss auf die mit unabhängigen Stromkreisen, wie sie bei dem Tesla'schen Wechselstromsystem verwendet werden, sondern auch auf andere Gleichstrom- oder Wechselstrommaschinen der im Allgemeinen üblichen Art.

Fig. 268 zeigt die Maschine in Seitenaufriss. Fig. 269 ist ein vertikaler Querschnitt der Feldmagnete und des Gestells und eine Endansicht des Ankers und Fig. 270 giebt einen Grundriss eines Theiles des Gestells und des Ankers, wobei ein Theil des letzteren weggeschnitten ist.

Die Feldmagnete und das Gestell sind in zwei Theilen gegossen. Diese Theile sind in Grösse und Form identisch und jeder derselben besteht aus den Platten AB, von denen die Kerne CD und die Seitenschienen oder Brückenstücke EF nach innen vorspringen. Die Form dieser Theile ist der freien Wahl überlassen; in der Figur bildet jedes Gussstück einen nahezu rechteckigen Rahmen, doch können sie offenbar auch mehr oder weniger oval, rund oder quadratisch sein. Es ist auch wünschenswerth, die Breite der Seitenschienen EF nach der Mitte hin zu reduciren und die Theile so zu proportioniren, dass, wenn die Gestelle zusammengesetzt werden, die Räume zwischen den Polstücken praktisch gleich den Bogen sind, welche die Oberflächen der Polstücke bilden.

Die Lager G für die Ankerwelle sind in die Seitenschienen EF eingegossen. Die Feldspulen sind entweder auf die Polstücke gewickelt oder auf eine Form gewunden und dann über die Enden der Polstücke hinübergeschoben. Der untere Theil ist nach geeigneter Zurichtung an der Grundplatte befestigt. Der auf seine Welle aufgebrachte Anker K ist dann in den Lagern des unteren Gussstückes montirt und darauf der andere Theil des Gestelles aufgesetzt, wobei zur Befestigung der beiden Theile in ihrer Lage Dübel L oder dergleichen verwendet sind.

Um eine leichtere Montirung zu ermöglichen, sind die Seitenschienen EF und die Endstücke AB in einer solchen Form gegossen, dass Schlitze M entstehen, wenn die beiden Theile zusammengefügt werden.

Diese Maschine besitzt verschiedene Vortheile. Werden z. B. die Kerne abwechselnd magnetisirt, wie durch die Buchstaben NS angedeutet

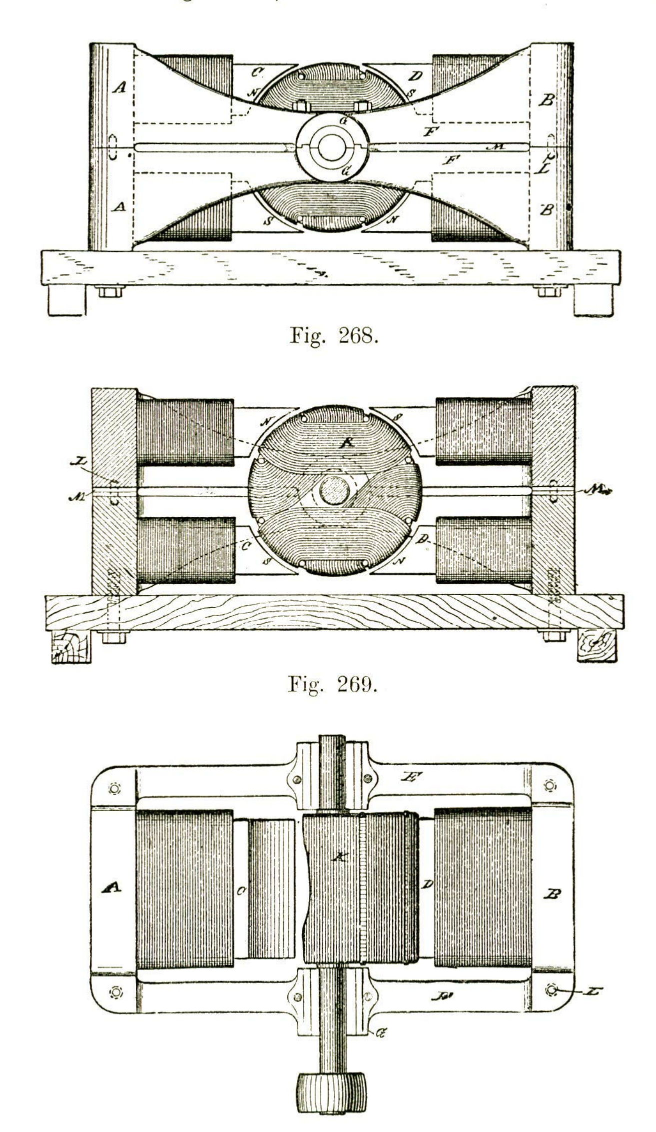


Fig. 268.

Fig. 269.

Fig. 270.

ist, so sieht man, dass der magnetische Stromkreis zwischen den Polen jedes Theiles eines Gussstückes durch die massiven eisernen Seitenschienen geschlossen wird. Die Lager für die Welle befinden sich in den neu-

tralen Punkten des Feldes, so dass der Ankerkern nicht von dem magnetischen Zustande des Feldes beeinflusst wird.

Die Verbesserung ist nicht auf vierpolige Maschinen beschränkt, da offenbar jedes Polstück getheilt oder durch die Gestalt der Gussstücke mehr als vier Pole gebildet werden könnten.

---

40. Kapitel.

Tesla's Gleichstrom-Bogenlicht-System.

Zu einer Zeit, bald nach seiner Ankunft in Amerika, interessirte sich Tesla sehr für die Bogenlichtbeleuchtung, welche damals die öffentliche Aufmerksamkeit beschäftigte und leicht die Unterstützung von Kapitalisten fand. Er arbeitete daher ein System aus, welches einer zu seiner Ausbeutung gebildeten Gesellschaft überlassen wurde, und widmete sich dann mit allem Eifer der Vervollkommnung der Einzelheiten seines berühmteren Systems von Motoren mit rotirendem Felde. Der Tesla'sche Bogenlichtapparat erschien zu einer Zeit, wo bereits sehr viele andere Lampen und Maschinen auf dem Markte waren, er verdiente jedoch wegen seiner sinnreichen Konstruktion Beachtung. Sein Hauptzweck war, die Herstellungskosten zu verringern und die Betriebsweise zu vereinfachen.

Wir wollen die Dynamomaschine zuerst betrachten. Fig. 271 ist ein Längsschnitt und Fig. 272 ein Querschnitt der Maschine. Fig. 273 zeigt eine Draufsicht und Fig. 274 eine Seitenansicht des Magnetgestells. Fig. 275 ist eine Endansicht der Kommutatorschienen und Fig. 276 ein Schnitt der Welle und der Kommutatorschienen. Das Diagramm 277 veranschaulicht die Wickelungen des Ankers und die Verbindungen mit den Kommutatorplatten.

Die Kerne *cccc* der Feldmagnete spitzen sich, wie aus der Figur ersichtlich, nach beiden Richtungen zu, um den Magnetismus auf die Mitte der Polstücke zu koncentriren.

Der Verbindungsrahmen *FF* der Feldmagnete besitzt die in der Seitenansicht Fig. 274 angedeutete Form; der untere Theil ist mit den nach auswärts gekrümmten Füssen *ee* versehen, so dass die Maschine fest auf zwei Grundschienen *rr* ruht.

An dem unteren Pole *S* des Feldmagneten *M* ist mittels Babbittmetalls oder eines anderen schmelzbaren diamagnetischen Materials die Grundplatte *B* befestigt, welche mit Lagern *b* für die Ankerwelle *H*

ausgestattet ist. Die Grundplatte *B* hat einen Fortsatz *P*, welcher die Bürstenhalter und die Regulirvorrichtungen trägt, die eine besondere von Tesla angegebene Konstruktion haben.

Der Anker ist mit besonderer Rücksicht darauf konstruirt, die von den Foucaultströmen und von der Aenderung der Polarität herrührenden Energieverluste auf ein Minimum zu reduciren und die unwirksame Drahtlänge auf dem Ankerkern soviel wie möglich zu verkürzen.

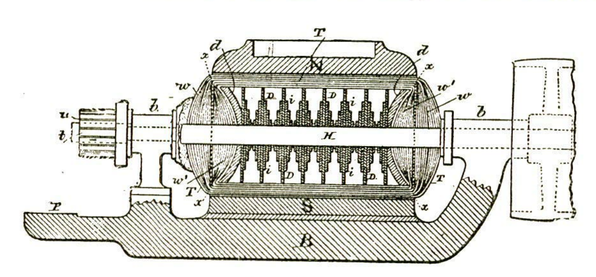


Fig. 271.

Bekanntlich werden, wenn der Anker zwischen den Polen der Feldmagnete rotirt, in dem Eisenkörper des Ankers Ströme erzeugt, welche Wärme entwickeln und daher einen Energieverlust verursachen. Infolge der gegenseitigen Wirkung der Kraftlinien, der magnetischen Eigenschaften des Eisens und der Geschwindigkeit der verschiedenen Theile

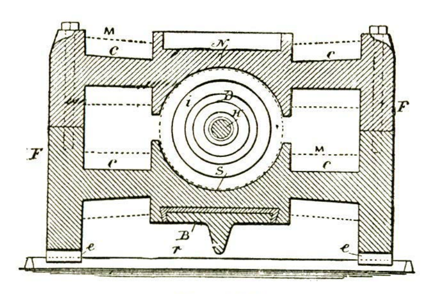


Fig. 272.

des Ankerkernes werden diese Ströme hauptsächlich an oder in der Nähe der Oberfläche des Ankerkerns erzeugt und nehmen allmählich nach der Mitte des Kernes zu an Stärke ab. Ihre Grösse ist unter gewissen Bedingungen proportional der Länge des Eisenkörpers in der Richtung, in welcher diese Ströme entstehen. Durch elektrische Untertheilung des Eisenkerns in dieser Richtung kann das Entstehen dieser Ströme in hohem Maasse reducirt werden. Wenn z. B. die Länge des Ankerkernes 30 cm beträgt und derselbe durch eine geeignete Konstruktion

elektrisch untertheilt ist, derart dass in der Stromerzeugungsrichtung die Ausdehnung des Eisens 15 cm und die Zwischenräume oder die Gesammtdicke des Isolationsmateriales ebenfalls 15 cm beträgt, so werden die Stromverluste auf 50 % reducirt werden.

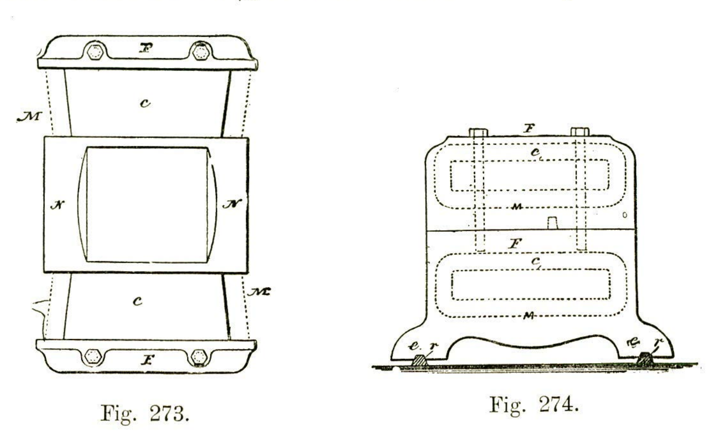


Fig. 273. Fig. 274.

Wie aus den Diagrammen ersichtlich, ist der Anker aus dünnen Eisenscheiben *D D D* von verschiedenen Durchmessern aufgebaut, die in geeigneter Weise an der Ankerwelle befestigt und ihrer Grösse nach geordnet sind, so dass eine Reihe von Eisenkörpern *i i i* entsteht, deren jeder von der Mitte nach dem Umfange an Dicke abnimmt. An beiden

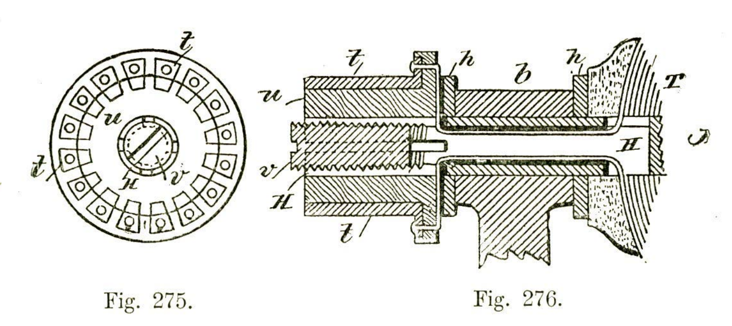


Fig. 275. Fig. 276.

Enden des Ankers sind die nach innen gekrümmten gusseisernen Scheiben *d d* an der Ankerwelle befestigt.

Bei der beschriebenen Konstruktion des Ankerkernes ist, wie leicht ersichtlich, an denjenigen Theilen des Ankers, welche am weitesten von der Achse entfernt sind und an denen die Ströme hauptsächlich entstehen, die Länge des Eisens in der Stromerzeugungsrichtung nur ein geringer Bruchtheil der Gesammtlänge des Ankerkerns, und da ausserdem der Eisenkörper in dieser Richtung untertheilt ist, so werden die Foucault-

ströme erheblich reducirt. Eine andere Ursache der Erwärmung ist die Verschiebung der Pole des Ankerkerns. Infolge der Untertheilung des Eisens im Anker und der Vergrösserung der Strahlungsfläche wird die Gefahr der Erwärmung vermindert.

Die Eisenscheiben DDD sind isolirt oder mit einem isolirenden Anstrich versehen; eine sehr sorgfältige Isolation ist unnöthig, da ein elektrischer Kontakt zwischen verschiedenen Scheiben nur an Stellen vorkommen kann, wo die erzeugten Ströme verhältnissmässig schwach sind. Ein in der beschriebenen Weise konstruirter Ankerkern kann zwischen den Polen der Feldmagnete rotiren, ohne die geringste Temperaturerhöhung zu zeigen.

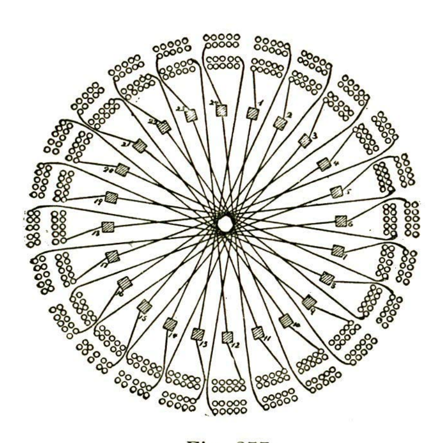


Fig. 277.

Die Endscheiben dd, welche von hinreichender Dicke und der Billigkeit wegen aus Gusseisen hergestellt sind, sind, wie in den Figuren angedeutet, nach innen gekrümmt. Die Ausdehnung der Krümmung ist abhängig von der Menge des auf den Ankern aufzuwickelnden Drahtes. Bei der vorliegenden Maschine ist der Draht auf den Anker in zwei über einander gelagerten Theilen gewickelt und die Krümmung der Endscheiben dd ist so berechnet, dass der erste Theil, d. h. praktisch die Hälfte des Drahtes, gerade den hohlen Raum bis zur Linie xx ausfüllt; oder wenn der Draht in anderer Weise gewickelt ist, so ist die Krümmung derart, dass, wenn der ganze Draht aufgewickelt ist, die äussere Drahtmasse w und die innere Drahtmasse w' zu beiden Seiten der Ebene xx gleich sind. In diesem Falle sind die passiven oder elektrisch unwirksamen Drähte von der geringstmöglichen Länge. Die Anordnung hat ferner den Vortheil, dass die Gesammtlängen der Querdrähte zu beiden Seiten der Ebene xx praktisch gleich sind.

Um ferner die Ankerwickelungen zu beiden Seiten der Platten, welche mit den Bürsten in Kontakt sind, gleichzumachen, ist die Wickelung und Schaltung in der folgenden Weise ausgeführt. Der ganze Draht ist auf den Ankerkern in zwei über einander liegenden Theilen gewickelt, welche durchweg von einander isolirt sind. Jeder dieser beiden Theile besteht aus drei getrennten Gruppen von Spulen. Nachdem die erste

Spulengruppe des ersten Drahttheils gewickelt und mit den Kommutatorschienen in gewöhnlicher Weise verbunden ist, wird diese Gruppe isolirt und die zweite Gruppe gewickelt. Anstatt aber die Spulen dieser zweiten Gruppe mit den nächstfolgenden Kommutatorschienen zu verbinden, sind dieselben mit den direkt gegenüber liegenden Kommutatorschienen verbunden. Die zweite Gruppe ist dann isolirt und die dritte Gruppe gewickelt und die Spulen dieser Gruppe sind mit denjenigen Kommutatorschienen verbunden, mit denen sie in der gewöhnlichen Weise verbunden sein würden. Die Drähte sind dann gut isolirt und der zweite Theil des Drahtes in derselben Weise gewickelt und verbunden.

Man nehme z. B. an, dass vierundzwanzig Spulen — d. h. zwölf in jedem Theile — und demgemäss vierundzwanzig Kommutatorplatten vorhanden seien. Dann giebt es in jedem Theile drei Gruppen von je vier Spulen, und die Spulen sind in folgender Weise verbunden:

	Gruppe	Kommutatorschienen
Erste Drahthälfte	Erste	1 — 5
	Zweite	17 — 21
	Dritte	9 — 13
Zweite Drahthälfte	Erste	13 — 17
	Zweite	5 — 9
	Dritte	21 — 1

Konstruirt man den Ankerkern und wickelt und verbindet man die Spulen in der angegebenen Weise, so wird der passive oder elektrisch unwirksame Draht auf ein Minimum reducirt und die Spulen auf jeder Seite der Platten, welche sich mit den Bürsten in Kontakt befinden, sind praktisch gleich. Hierdurch wird der elektrische Wirkungsgrad der Maschine vergrössert.

Die Kommutatorplatten *t* sind in der Figur ausserhalb des Lagers *b* der Ankerwelle dargestellt. Die Welle *H* ist röhrenförmig und am Ende aufgeschlitzt, und die Drähte sind in der üblichen Weise durch dieselbe hindurchgeführt und mit den bezüglichen Kommutatorplatten verbunden. Die Kommutatorplatten sitzen auf einem Cylinder *u* und sind isolirt, und dieser Cylinder ist in die geeignete Lage gebracht und dann in der Weise befestigt, dass das aufgeschlitzte Ende der Welle durch einen spitz zulaufenden Schraubenbolzen *v* auseinander getrieben ist.

Die von Tesla erfundenen Bogenlampen, welche in von der oben beschriebenen Dynamomaschine gespeisten Stromkreisen Verwendung finden sollen, gehören zu derjenigen Art von Lampen, bei denen die Trennung und Nachschiebung der Kohlenelektroden oder ihrer Aequivalente

mit Hülfe von Elektromagneten oder Solenoiden in Verbindung mit einem geeigneten Klemmmechanismus bewirkt wird; durch dieselben sollten gewisse den Bogenlampen gemeinsame Fehler beseitigt werden.

Tesla ging darauf aus, die häufigen Schwingungen der beweglichen Kohlenspitze und das daraus entstehende Flackern des Lichtes zu vermeiden, das Zusammenfallen der Kohlen bis zur Berührung zu verhüten, den Oeltopf, das Uhr- oder Räderwerk und ähnliche Vorrichtungen entbehrlich, die Lampe ausserordentlich empfindlich zu machen und die Kohle fast unmerklich nachzuschieben und dadurch ein sehr konstantes und gleichmässiges Licht zu erzielen.

Bei jener Art von Lampen, bei denen die Regulirung des Lichtbogens mittels Kräften bewirkt wird, die auf einen frei beweglichen mit der Elektrode verbundenen Stab oder Hebel in entgegengesetztem Sinne wirken, wobei entweder alle oder einige Kräfte von der Stromstärke abhängen, verursacht jede Aenderung in dem elektrischen Zustande des Stromkreises eine Schwingung und ein entsprechendes Flackern des Lichtes. Diese Schwierigkeit tritt am deutlichsten hervor, wenn nur wenige Lampen in dem Stromkreise vorhanden sind. Um diesen Uebelstand zu verringern, sind Lampen konstruirt worden, bei denen der Hebel oder Anker nach Herstellung des Bogens in einer bestimmten Stellung gehalten wird und während des Nachschiebens nicht vibriren kann, indem der Nachschiebungsmechanismus unabhängig funktionirt. Bei denjenigen Lampen aber, in denen eine Klauenkuppelung verwendet wird, kommt es häufig vor, dass die Kohlen in Kontakt kommen und das Licht augenblicklich erlischt und dass häufig Theile des Stromkreises beschädigt werden. Bei diesen beiden Arten von Lampen verwandte man in der Regel einen Oeltopf, ein Uhrwerk oder äquivalente Verlangsamungsmechanismen; indessen sind diese oft unzuverlässig und bedenklich und vergrössern die Herstellungskosten.

Tesla kombinirt zwei Elektromagnete — einen von geringem Widerstande in dem Haupt- oder Lampenstromkreis und den andern von verhältnissmässig hohem Widerstande in einem Nebenschluss um den Bogen —, einen beweglichen Ankerhebel und einen besonderen Nachschiebungsmechanismus, wobei die Theile derart angeordnet sind, dass bei der normalen Arbeitslage des Ankerhebels derselbe beinahe fest in einer Stellung gehalten und auch durch erhebliche Aenderungen im elektrischen Stromkreise nicht beeinflusst wird; sobald aber die Kohlen mit einander in Berührung kommen, wird der Anker durch die Magnete in solcher Weise bethätigt, dass er den Hebel in Bewegung setzt und den Bogen herstellt und die Kohlen so lange

hält, bis der Bogen die richtige Länge wieder besitzt und der Ankerhebel in die normale Lage zurückkehrt. Hierauf wird der Kohlenhalter durch die Wirkung des Nachschiebungsmechanismus ausgelöst, so dass er die Kohle nachschiebt und die normale Länge des Bogens wieder herstellt.

Fig. 278 stellt einen Aufriss des bei dieser Bogenlampe verwendeten Mechanismus dar. Fig. 279 zeigt einen Grundriss. Fig. 280 ist ein

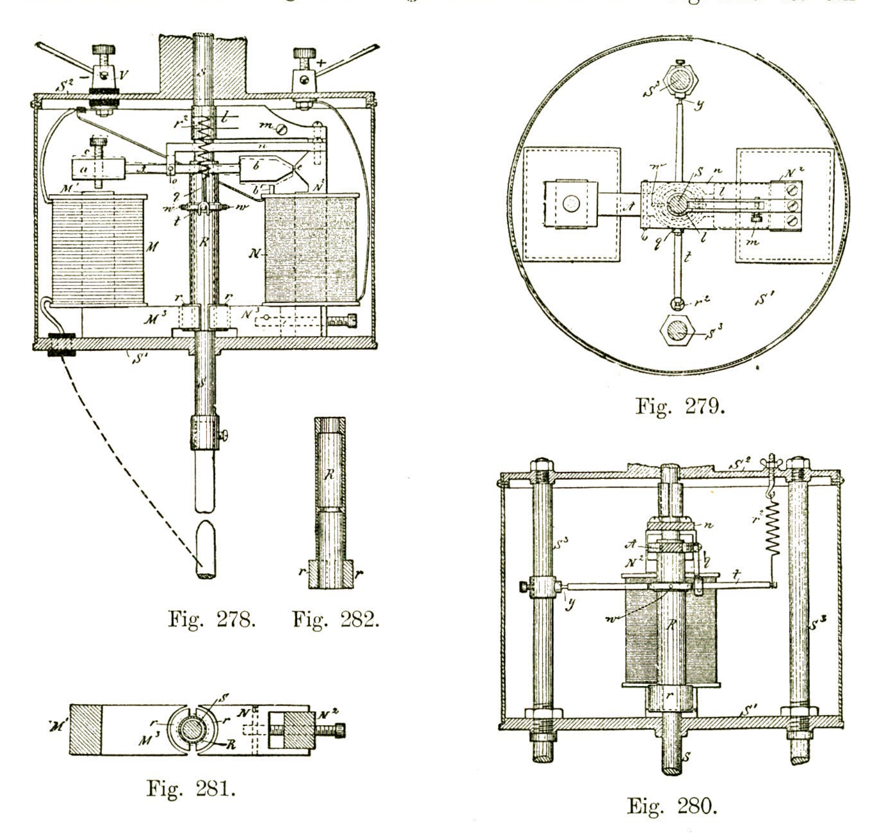


Fig. 278. Fig. 282.

Fig. 279.

Fig. 281.

Eig. 280.

Aufriss des Wagebalkens und der Feder, Fig. 281 ein Grundriss der Polstücke und Anker an der Friktionskuppelung und Fig. 282 ein Schnitt des Klemmcylinders.

M ist eine Spule aus dickem Draht in einem Stromkreise, welcher von dem unteren Kohlenhalter nach der negativen Klemmschraube — geht. N ist eine Spule aus dünnem Draht in einem Nebenschluss zwischen der positiven Klemmschraube + und der negativen Klemmschraube —. Der obere Kohlenhalter S ist eine rechteckige Stange,

welche durch die Platten $S^1 S^2$ des Rahmens der Lampe hindurchgleitet, und daher geht der elektrische Strom von der positiven Klemmschraube + durch die Platte S^2, den Kohlenhalter S und die obere Kohle zur unteren Kohle und von da durch den Kohlenhalter und eine metallische Verbindung nach der Spule M.

Die Kohlenhalter sind von der gewöhnlichen Art; um die elektrischen Verbindungen herzustellen, dienen die Federn l, welche die die obere Kohle haltende Stange S fassen, derselben aber gestatten, frei durch sie hindurchzugleiten. Diese Federn l können in ihrer Spannung durch die Schraube m regulirt werden und die Feder l kann von irgend einer passenden Stütze gehalten werden. In der Figur sind dieselben mit dem oberen Ende des Kernes des Magneten N verbunden.

Die Kohlenhalterstange S ist zwischen den Platten $S^1 S^2$ von einem Cylinder R umgeben, welcher zur Bremsung dient. Dieser Cylinder ist, wie aus dem Schnitt Fig. 282 ersichtlich ist, ausgebohrt, so dass er sich an die Stange S an ihrem oberen Ende und nahe der Mitte anlegt, und an dem unteren Ende dieses Bremscylinders R befinden sich Ankersegmente r aus weichem Eisen. Ein Rahmen oder Arm n, der am besten von dem Kerne N^2 ausgeht, trägt den Hebel A mittels einer Gabel o. Dieser Hebel A hat eine Durchbohrung, durch welche das obere Ende der Cylinderklaue R frei hindurchgeht, und von dem Hebel A geht ein Gelenk q nach dem Hebel t, welcher bei y mit einem Ringe auf einer der Säulen S^3 verbunden ist. Dieser Hebel t hat eine Aussparung oder eine Krümmung, welche um den Cylinder R herumgeht, und zwischen dem Hebel t und dem Cylinder R ist eine Verbindung mittels Stiften w hergestellt. Eine Feder r^2 dient zur Tragung oder Aufhängung und zur Ausbalancirung des Gewichts der Theile. Diese Feder ist regulirbar.

An dem einen Ende des Hebels A befindet sich über dem Kerne M' der Spule M ein Anker a aus weichem Eisen, durch welchen eine Anschlagschraube c hindurchgeht, und an dem andern Ende des Hebels A befindet sich ein Anker b aus weichem Eisen, dessen Ende keilförmig zugespitzt ist und an den seitlichen Ansatz e an dem Kerne N^2 heranreicht. Die unteren Enden der Kerne $M' N^2$ sind respektive mit seitlich vorspringenden Polstücken $M^3 N^3$ versehen, welche an ihren äusseren Enden konkav sind und auf entgegengesetzten Seiten der Ankersegmente r an dem unteren Ende des Bremscylinders R liegen.

Diese Vorrichtungen funktioniren in folgender Weise. In unthätigem Zustande ruht die obere Kohle auf der unteren. Wird der elektrische Strom eingeschaltet, so geht derselbe frei durch Vermittelung des Rahmens

und der Feder l durch die Stangen und Kohlen nach dem dicken Drahte und der Spule M und ferner nach der negativen Klemmschraube V und erregt den Kern M'. Das Polstück M^3 zieht den Anker r an; infolge des entstehenden seitlichen Druckes fasst die Klaue R die Stange s' und gleichzeitig bewegt sich der Hebel A aus der in Fig. 278 durch gestrichelte Linien dargestellten Lage in die durch voll ausgezogene Linien angedeutete normale Lage und hebt dadurch das Gelenk q und den Hebel t, die ihrerseits die Klaue R und die Stange S heben, auf diese Weise die Kohlen trennen und den Lichtbogen herstellen. Der Magnetismus des Polstückes e sucht den Hebel A wagerecht zu halten, indem der Kern N^2 von dem Strome in dem die Spule N enthaltenden Nebenschluss erregt wird. In dieser Stellung wird der Hebel A durch eine gewöhnliche Aenderung des Stromes nicht in Bewegung gesetzt, weil der Anker b durch den Magnetismus von e, welche Theile dicht an einander liegen, stark angezogen wird und der Magnetismus von e rechtwinklig zu dem Magnetismus des Kernes M' wirkt. Wenn nun der Bogen zu lang wird, so wird der Strom durch die Spule M verringert und der Magnetismus des Kernes N^3 durch den grösseren, den Nebenschluss durchfliessenden Strom stärker und dieser Kern N^3 zieht das Ankersegment r an, vermindert dadurch den Druck des Bremscylinders R gegen die Stange S und gestattet so der letzteren herabzugleiten und die Bogenlänge zu verkleinern. Hierdurch wird sofort das magnetische Gleichgewicht wieder hergestellt und der Bremscylinder R gegen die Stange S gedrückt. Kommt es vor, dass die Kohlen sich bis zur Berührung nähern, dann wird der Magnetismus von N^2 so sehr geschwächt, dass die Anziehung des Magneten M ausreicht, um den Anker a und den Hebel A derart zu bewegen, dass der Anker b über die normale Lage hinausgeht und dadurch die Kohlen augenblicklich trennt; brennen aber die Kohlen ab, so geht ein grösserer Strombetrag durch den Nebenschluss, bis die Anziehung des Kernes N^2 die Anziehung des Kernes M' überwindet und den Ankerhebel A wieder in die normale horizontale Lage bringt, und zwar geschieht dies, bevor der Nachschub stattfindet. Die Ankersegmente r sind in der Figur nahezu halbkreisförmig dargestellt. Dieselben können auch rechteckig oder von jeder beliebigen andern Form sein, wonach sich dann die Form der Enden der Polstücke $M^3 N^3$ zu richten hat.

Bei einer Modifikation dieser Lampe bringt Tesla eine Vorrichtung zur automatischen Ausschaltung der Lampe aus dem Stromkreise an, wenn der Bogen infolge Versagens der Regulirung eine abnorme Länge erreicht, und ebenso eine Vorrichtung zur selbstthätigen Wiedereinschal-

tung der Lampe in den Stromkreis, falls die Stange herabfällt und die Kohlen in Kontakt kommen.

Fig. 283 ist ein Aufriss der Lampe nebst Gehäuse im Schnitt. Fig. 284 ist ein Schnitt durch die Linie *xx*. Fig. 285 stellt, theilweise im Schnitt, einen Aufriss der Lampe senkrecht zu dem in Fig. 283 dar.

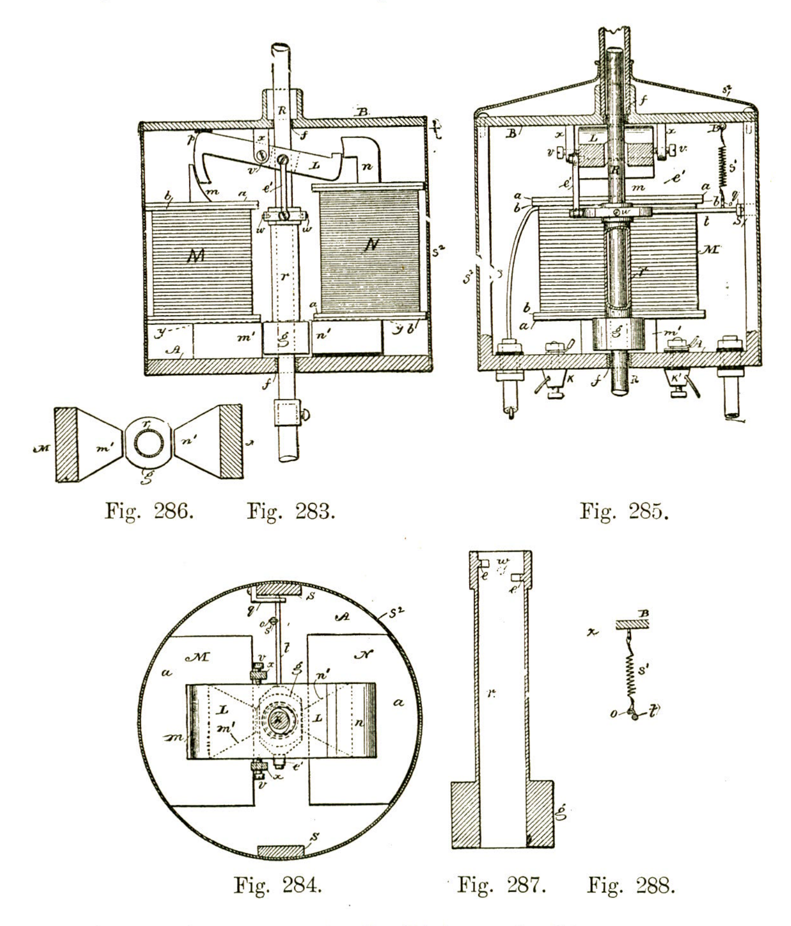


Fig. 286. Fig. 283. Fig. 285.

Fig. 284. Fig. 287. Fig. 288.

Fig. 286 ist ein Schnitt durch die Linie *yy* in Fig. 283. Fig. 287 ist ein Schnitt der Klemmvorrichtung in nahezu natürlicher Grösse. Fig 288 stellt die Verbindung der Feder mit dem die Zapfen der Klemmvorrichtung tragenden Hebel dar und Fig. 289 giebt ein Schaltungsschema der Lampe.

In Fig. 283 stellt *M* den Hauptmagnet und *N* den Nebenschlussmagnet dar, die beide an der Grundplatte *A* befestigt sind, die zusammen mit den Seitenstäben *SS* aus einem Stück Messing oder einem

andern diamagnetischen Material gegossen ist. Mit den Magneten sind die Messingbleche oder -Scheiben *aa aa* verlöthet oder in anderer Weise fest verbunden. Aehnliche Scheiben *bb* aus Fiber oder einem anderen Isolationsmaterial dienen dazu, die Drähte von den Messingblechen zu isoliren.

Die Magnete *M* und *N* sind sehr flach, so dass ihre Breite drei- oder mehrmal ihre Dicke übertrifft. Aus diesem Grunde reicht eine verhältnissmässig kleine Zahl von Windungen zur Erzeugung des erforderlichen Magnetismus aus, während eine grössere Fläche zur Abkühlung der Drähte erhalten wird.

Die oberen Polstücke *m n* der Magnete sind, wie aus der Fig. 283 ersichtlich, gekrümmt. Die unteren Polstücke *m' n'* sind nahe an einander gebracht und laufen nach dem Anker *g* hin spitz zu, wie aus den Fig. 284 und 286 ersichtlich ist. Diese Zuspitzung hat den Zweck, den grössten Betrag des erzeugten Magnetismus auf den Anker zu koncentriren und zu bewirken, dass die Anziehung stets auf die Mitte des Ankers *g* ausgeübt wird. Dieser Anker *g* ist ein Eisenstück in der Form eines Hohlcylinders, von welchem auf jeder Seite ein Stück abgeschnitten ist, dessen Breite gleich der Breite der Polstücke *m' n'* ist.

Der Anker ist mit der Bremsvorrichtung *r*, die aus einem mit zwei Greifbacken *ee* (Fig. 287) versehenen Messingrohre besteht, verlöthet oder in anderer Weise fest verbunden. Diese Backen sind Bogen eines Kreises vom Durchmesser der Stange *R* und sind aus gehärtetem Neusilber hergestellt. Die Führungen *ff*, durch welche die Kohlenhalterstange *R* gleitet, bestehen aus demselben Material. Dies hat den Vortheil, dass die Abnutzung der mit der Stange in Reibungskontakt kommenden Theile, welche häufig Störungen verursacht, bedeutend reducirt wird. Die Backen *ee* sind im Innern des Rohres *r* derart angebracht, dass der eine etwas tiefer steht als der andere. Der Zweck dieser Anordnung ist, eine etwas grössere Oeffnung für den Durchgang der Stange zu schaffen, wenn dieselbe von der Bremse losgelassen wird. Der Bremscylinder *r* wird von Lagern *ww* (Fig. 283, 285 und 287) getragen, die sich gerade in der Mitte zwischen den Backen *ee* befinden. Die Lager *ww* sitzen an dem Hebel *t*, dessen eines Ende auf einem regulirbaren Auflager *q* der Seitenstäbe *S* ruht, während das andere Ende mittels des Gelenkes *e'* mit dem Ankerhebel *L* verbunden ist. Der Ankerhebel *L* ist ein flaches Eisenstück von der Form eines **N**, dessen Enden entsprechend der Form der oberen Polstücke der Magnete *M* und *N* gekrümmt sind. Derselbe hängt an den Zapfen *vv* Fig. 284, welche sich in dem Backen *x* der Deckplatte *B* befinden. Diese Platte *B* nebst dem Backen *x* ist in einem Stück gegossen und mit den aus der Grundplatte *A* herausragenden

Seitenstäben SS verschraubt. Um das Uebergewicht der beweglichen Theile zum Theil auszubalanciren, ist eine Feder s', Fig. 284 und 288, an der Deckplatte B befestigt und an den Hebel t angehakt. Der Haken o ist nach der einen Seite des Hebels versetzt oder etwas seitwärts gebogen, wie aus Fig. 288 ersichtlich ist. Hierdurch erhält der Anker eine geringe Tendenz, gegen das Polstück m' des Hauptmagneten zu schwingen.

Die Klemmen KK' sind in die Grundplatte A eingeschraubt. Ebenso ist an der Grundplatte ein Handschalter zur Kurzschliessung der Lampe, wenn die Kohlen erneuert werden sollen, befestigt. Dieser Ausschalter ist von der gewöhnlichen Art und in den Figuren nicht dargestellt.

Die Stange R ist mit dem Lampenrahmen mittels eines flexiblen Leiters oder auf andere Weise elektrisch verbunden. Das Lampengehäuse erhält einen abnehmbaren Deckel s^2 zur Umhüllung der Theile.

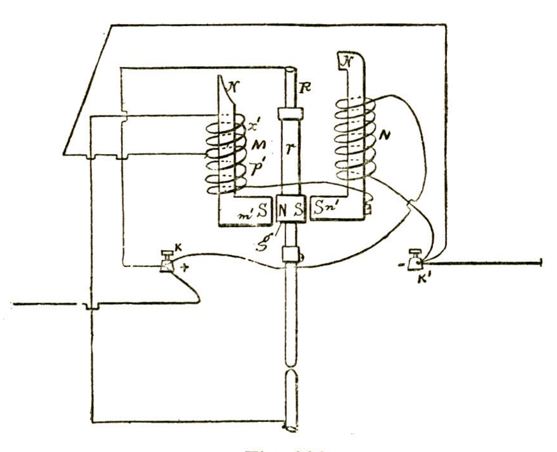


Fig. 289.

Die elektrischen Verbindungen sind in Fig. 289 schematisch angedeutet. Der Draht auf dem Hauptmagneten besteht aus zwei Theilen x' und p'. Diese beiden Theile können in zwei getrennten Spulen oder, wie in der Zeichnung dargestellt, in einer einzigen Spule liegen. Der Theil x', der für gewöhnlich in den Stromkreis eingeschaltet ist, ist mit dem dünnen Drahte auf dem Nebenschlussmagnet in gleicher Richtung gewickelt und vom Strome durchflossen, so dass er auf den entsprechenden Polstücken der Magnete M und N gleiche Pole NN oder SS zu erzeugen sucht. Der Theil p' dagegen ist nur in den Stromkreis eingeschaltet, wenn die Lampe ausgeschaltet ist, und da dann der Strom in der entgegengesetzten Richtung fliesst, so wird in dem Hauptmagneten Magnetismus von entgegengesetzter Polarität erzeugt.

Der Mechanismus funktionirt in folgender Weise: Am Anfang mögen die Kohlen mit einander in Berührung sein. Der Strom geht von der positiven Klemmschraube K nach dem Lampenrahmen, dem Kohlenhalter, der oberen und unteren Kohle, der isolirten Rückleitung in eine der Seitenstangen und von dort durch den Theil x' des Drahtes auf dem Haupt-

magnet nach der negativen Klemmschraube. Bei dem Durchgang des Stromes wird der Hauptmagnet erregt und zieht den Anker *g* des Klemmcylinders an; dadurch schwingt der letztere zur Seite und fasst mit den Klemmbacken *e e* die Stange. Zu gleicher Zeit wird der Ankerhebel *L* abwärts gezogen und die Kohlen werden getrennt. Beim Herabziehen des Ankerhebels *L* wird der Hauptmagnet durch den Nebenschlussmagnet *N* unterstützt, welcher letztere durch magnetische Induktion vom Magneten *M* magnetisirt wird.

Wie man sieht, sind die Anker *L* und *g* in Wirklichkeit die Schlussstücke für den magnetischen Stromkreis der Magnete *M* und *N* und infolge dieses Umstandes können beide Magnete mit einem der beiden Anker *L* und *g* zusammen als ein Hufeisenmagnet betrachtet werden, den man einen „zusammengesetzten Magnet“ nennen könnte. Die aus weichem Eisen bestehenden Theile *M*, *m'*, *g*, *n'*, *N* und *L* bilden zusammen einen zusammengesetzten Magnet.

Sind die Kohlen getrennt, so erhält der dünne Draht einen Theil des Stromes. Nunmehr erzeugt die magnetische Induktion des Magneten *M* an den entsprechenden Enden des Magneten *N* entgegengesetzte Pole; der die Spulen durchfliessende Strom sucht dagegen an den entsprechenden Enden beider Magnete gleiche Pole zu erzeugen, und somit wird, sobald der dünne Draht von genügendem Strom durchflossen wird, der Magnetismus des ganzen zusammengesetzten Magnetes verringert.

Mit Rüchsicht auf den Anker *g* und das Funktioniren der Lampe kann der Pol *m'* als der „arretirende“ und der Pol *n'* als der „auslösende“ Pol betrachtet werden.

Wenn die Kohlen abbrennen, nimmt der dünne Draht mehr Strom auf, und der Magnetismus wird im Verhältniss geringer. Infolgedessen schwingt der Ankerhebel *L* und der Anker *g* sinkt allmählich durch das Gewicht der beweglichen Theile herab, bis das Ende *p* (Fig. 283) gegen den Anschlag an der Deckplatte *B* stösst. Die Regulirung ist derart, dass, wenn dies stattfindet, die Stange *R* von den Klemmbacken *e e* noch gerade gefasst wird. Da die weitere Abwärtsbewegung des Ankerhebels verhindert wird, so wird der Bogen durch den Abbrand der Kohlen länger, und der zusammengesetzte Magnet wird schwächer und schwächer, bis der arretirende Anker *g* die Klemmung der Backen *e e* gegen die Stange *R* aufhebt, und die Stange ein wenig herabfallen kann und dadurch den Bogen verkürzt. Da jetzt der dünne Draht weniger Strom empfängt, nimmt der Magnetismus wieder zu, die Stange wird von neuem festgeklemmt und, wenn nöthig, etwas gehoben. Dieses Festklemmen und Loslassen der Stange dauert so fort, bis die Kohlen

verbraucht sind. In Wirklichkeit ist die Regulirung so empfindlich, dass für den grössten Theil der Zeit die Bewegung der Stange ohne eine wirkliche Messung nicht wahrgenommen werden kann. Während des normalen Funktionirens der Lampe bleibt der Ankerhebel L praktisch stationär in der in Fig. 283 dargestellten Lage.

Sollte es infolge einer Unvollkommenheit der Stange vorkommen, dass die Stange und die Kohlen zu weit herabfallen, so dass der Bogen zu kurz wird, oder gar die Kohlen in Kontakt kommen, so geht nur ein sehr geringer Strombetrag durch den dünnen Draht und der zusammengesetzte Magnet wird stark genug, um wie am Anfang den Ankerhebel L herabzuziehen und die Kohlen weiter von einander zu entfernen.

Im praktischen Betriebe kommt es oft vor, dass die Stange in den Führungen stecken bleibt. In diesem Falle erreicht der Bogen eine bedeutende Länge, bis er schliesslich zerreisst. Dann erlischt das Licht, und der dünne Draht wird häufig beschädigt. Um dies zu verhüten, versieht Tesla diese Lampe mit einem automatischen Ausschalter, welcher folgendermassen funktionirt: Wenn bei einem Versagen der Regulirung der Bogen eine gewisse vorher bestimmte Länge erreicht, so wird ein solcher Strombetrag durch den dünnen Draht gesandt, dass die Polarität des zusammengesetzten Magneten umgekehrt wird. Der Arretirungsanker g wird nun gegen den Nebenschlussmagnet N bewegt, bis er an den auslösenden Pol n' anschlägt. Sobald der Kontakt hergestellt ist, geht der Strom von der positiven Klemmschraube über den Bremscylinder r, Anker g, isolirten Nebenschlussmagnet und die Spule p' auf dem Hauptmagnet M nach der negativen Klemmschraube. In diesem Falle fliesst der Strom in der entgegengesetzten Richtung und ändert die Polarität des Magneten M, während er gleichzeitig durch magnetische Induktion in dem Kerne des Nebenschlussmagneten den erforderlichen Magnetismus ohne Umkehrung der Polarität unterhält, und somit der Anker g an dem Pol n' des Nebenschlussmagneten haften bleibt. Die Lampe wird auf diese Weise ausgeschaltet, so lange die Kohlen getrennt sind. Der Ausschalter kann in dieser Form ohne weitere Aenderung benutzt werden; indessen giebt Tesla demselben eine solche Anordnung, dass, wenn die Stange herabfällt und die Kohlen in Kontakt kommen, der Bogen wieder hergestellt wird. Zu diesem Zwecke proportionirt er den Widerstand des Theiles p' und die Anzahl der Drahtwindungen auf dem Hauptmagneten derart, dass, wenn die Kohlen in Berührung kommen, ein hinreichender Strombetrag durch die Kohlen und den Theil x' geht, um den Magnetismus des zusammengesetzten Magneten zu zerstören oder aufzuheben. Dann löst der Anker g, der jetzt eine

geringe Tendenz hat, sich dem arretirenden Pole m' zu nähern, die Berührung mit dem auslösenden Pole n' auf. Sobald dies der Fall ist, wird der Strom durch den Theil p' unterbrochen und der gesammte Strom geht durch den Theil x'. Der Magnet M wird jetzt stark magnetisirt, der Anker g wird angezogen und die Stange arretirt. Zu gleicher Zeit wird der Ankerhebel L aus seiner normalen Lage herabgezogen und der Bogen hergestellt. Auf diese Weise schaltet sich die Lampe selbstthätig aus, wenn der Bogen zu lang wird, und schaltet sich wieder selbsthätig in den Stromkreis ein, wenn die Kohlen zusammenfallen.

---

41. Kapitel.

Verbesserung an Unipolarmaschinen.

Eine andere interessante Klasse von Apparaten, denen Tesla seine Aufmerksamkeit zugewandt hat, sind die Unipolarmaschinen, bei denen ein scheibenförmiger oder cylindrischer Leiter zwischen magnetischen Polen, die ein annähernd gleichförmiges Feld erzeugen können, montirt ist. Bei den Scheibenankermaschinen fliessen die in dem rotirenden Leiter inducirten Ströme vom Mittelpunkte nach der Peripherie oder umgekehrt, je nach der durch die Vorzeichen der magnetischen Pole bestimmten Richtung der Rotation oder der Kraftlinien, und diese Ströme werden in der Regel abgenommen durch Verbindungen oder Bürsten, die an der Scheibe in Punkten an der Peripherie und in der Nähe des Mittelpunktes angebracht werden. In dem Falle der Cylinderankermaschinen werden die in dem Cylinder erzeugten Ströme durch Bürsten abgenommen, die an den Seiten des Cylinders an dessen Enden angebracht sind.

Um eine für praktische Zwecke verwerthbare elektromotorische Kraft in ökonomischer Weise zu erzeugen, muss man entweder den Leiter mit einer sehr hohen Geschwindigkeit rotiren oder eine Scheibe von grossem Durchmesser bezw. einen Cylinder von grosser Länge benutzen; in jedem Falle aber ist es schwierig, eine gute elektrische Verbindung zwischen den Stromabnehmerbürsten und dem Leiter herzustellen und zu erhalten, und zwar wegen der hohen Umfangsgeschwindigkeit.

Um eine höhere elektromotorische Kraft zu erhalten, hat man vorgeschlagen, zwei oder mehrere Scheiben hinter einander zu schalten. Aber bei den bisher angewandten Schaltungen und bei Benutzung anderer Geschwindigkeits- und Dimensionsverhältnisse der Scheibe, wie sie zur

Erzielung guter praktischer Resultate erforderlich sind, wird diese Schwierigkeit doch immer als ein ernstes Hinderniss für die Anwendung solcher Art von Generatoren empfunden. Diese Bedenken hat Tesla durch Konstruktion einer Maschine mit zwei Feldern, von denen jedes einen zwischen seinen Polen montirten rotirenden Leiter besitzt, zu beseitigen gesucht. Das gleiche Prinzip ist auf beide oben erwähnten Maschinentypen anwendbar, doch beschränkt sich die nachfolgende Beschreibung auf die Maschine mit Scheibenanker, welcher Tesla bei Maschinen dieser Art den Vorzug zu geben geneigt ist. Die Scheiben werden, nach Art der Seilscheiben, mit Flanschen versehen und durch biegsame leitende Seile oder Riemen mit einander verbunden.

Die Maschine ist in der Weise aufgebaut, dass die Richtung des Magnetismus oder die Reihenfolge der Pole in dem einen Kraftfelde derjenigen in dem andern entgegengesetzt ist, so dass eine Drehung der Scheiben in gleicher Richtung in der einen einen Strom vom Mittelpunkte nach der Peripherie und in der andern einen Strom von der Peripherie nach dem Mittelpunkte hervorruft. Demnach bilden die Kontakte, welche auf den Wellen, auf denen die Scheiben sitzen, angebracht sind, die Enden eines Stromkreises, in welchem die elektromotorische Kraft die Summe der elektromotorischen Kräfte der beiden Scheiben ist.

Es ist klar, dass sich, wenn die Richtung des Magnetismus in beiden Feldern dieselbe ist, das gleiche Resultat wie oben auch dadurch erreichen lässt, dass man die Scheiben in entgegengesetzter Richtung dreht und die Kuppelungsriemen kreuzt. Auf diese Weise wird die Schwierigkeit der Herstellung und Unterhaltung guten Kontaktes mit den Peripherien der Scheiben vermieden und eine billige und dauerhafte Maschine hergestellt, welche für viele Zwecke nützlich sein kann, z. B. als Erreger für Wechselstromgeneratoren, als Motor oder für irgend welche anderen Zwecke, für welche Dynamomaschinen gebraucht werden.

Fig. 290 ist eine Seitenansicht, zum Theil im Schnitt, der Maschine; Fig. 291 stellt einen vertikalen Schnitt derselben senkrecht zu den Wellen dar.

Um ein Gestell mit zwei Kraftfeldern herzustellen, ist ein Ständer A mit zwei Polstücken BB' in einem Stück gegossen. Mit diesem ist ein Gussstück D mit zwei ähnlichen und entsprechenden Polstücken CC' mittels Bolzen E verbunden. Die Polstücke BB' sind derart bewickelt und geschaltet, dass ein Kraftfeld von gegebener Polarität entsteht, und die Polstücke CC' sind derart bewickelt, dass sie ein Feld von entgegengesetzter Polarität erzeugen. Die Triebwellen FG gehen durch die Pole

hindurch und sind in isolirten Lagern in den Gussstücken *A D*, wie aus der Figur ersichtlich, gelagert.

H K sind die Scheiben oder stromerzeugenden Leiter. Dieselben bestehen aus Kupfer, Messing oder Eisen und sind auf ihre respektiven Wellen aufgekeilt. Sie sind am Umfange mit breiten Flanschen *J* versehen. Wenn gewünscht, können natürlich die Scheiben von ihren Wellen isolirt werden. Ueber die Flanschen der beiden Scheiben geht ein biegsamer Metallriemen *L*, der, wenn gewünscht, zum Antrieb einer der Scheiben benutzt werden kann. Es ist jedoch besser, diesen Riemen bloss als Leiter zu benutzen, und für diesen Zweck wird Stahlblech,

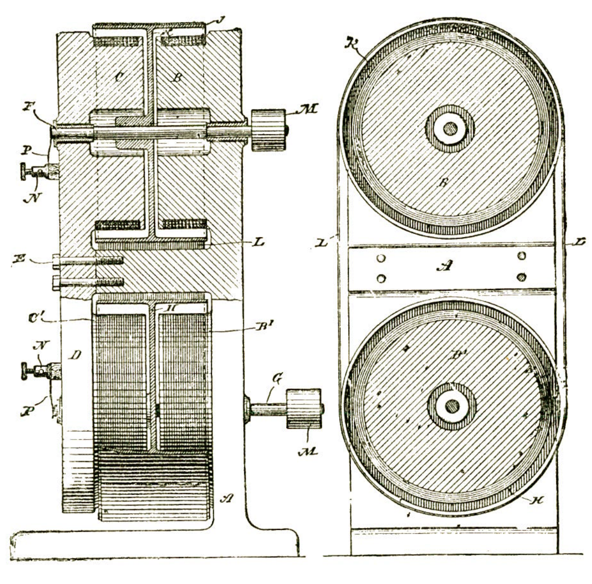


Fig. 290. Fig. 291.

Kupfer oder ein anderes passendes Metall verwendet. Jede Welle ist mit einer Triebscheibe *M* versehen, durch welche die Kraft von einer Transmission entnommen wird.

N N sind die Klemmen. Der Deutlichkeit wegen sind dieselben mit Federn *P* versehen dargestellt, welche auf die Enden der Wellen drücken. Diese Maschine würde bei Selbsterregung Kupferbänder um ihre Pole haben; es können aber auch irgend welche Leiter, z. B. Drähte wie in den Figuren, verwendet werden.

Der Verfasser hat es für zweckmässig gehalten, hier einige Bemerkungen über Unipolarmaschinen anzufügen, die Tesla bei neuerer Gelegenheit niedergeschrieben hat.

Bemerkungen über Unipolarmaschinen.*)

„Es ist ein charakteristisches Merkmal fundamentaler Entdeckungen und hervorragender Meisterwerke des Verstandes, dass sie ihren Eindruck auf den Geist des Forschers unvermindert beibehalten. Der denkwürdige Versuch Faraday's mit einer zwischen den beiden Polen eines Magneten rotirenden Scheibe, welcher so herrliche Frucht getragen hat, ist längst in die alltägliche Erfahrung übergegangen, und doch giebt es noch gewisse Eigenthümlichkeiten bei diesem Embryo der heutigen Dynamomaschinen und Motoren, welche noch heute uns merkwürdig erscheinen und der sorgfältigsten Untersuchung werth sind.

Betrachten wir z. B. eine Scheibe aus Eisen oder einem anderen Metall, welche zwischen den entgegengesetzten Polen eines Magneten rotirt; die Polflächen mögen beide Seiten der Scheibe vollständig bedecken und der Strom möge gleichförmig von allen Punkten der Peripherie der Scheibe durch Kontakte abgenommen oder zugeführt werden. Man nehme zunächst den Fall eines Motors. Bei allen gewöhnlichen Motoren ist das Funktioniren derselben abhängig von einer gewissen Verschiebung oder Aenderung der Resultante der auf den Anker ausgeübten magnetischen Anziehung, wobei dieser Vorgang entweder durch eine gewisse mechanische Vorrichtung am Motor oder durch die Wirkung von Strömen von der geeigneten Beschaffenheit hervorgebracht wird. Die Wirkung eines solchen Motors können wir geradeso erklären wie diejenige eines Wasserrades. Bei dem oben angeführten Beispiel der vollständig von den Polflächen umgebenen Scheibe findet aber, soweit wir wissen, keine Verschiebung der magnetischen Wirkung noch irgendwelche Aenderung statt und doch erfolgt eine Rotation. Demnach sind Betrachtungen gewöhnlicher Art hier nicht anwendbar. Wir können nicht einmal eine oberflächliche Erklärung, wie bei gewöhnlichen Motoren, geben und die Wirkung wird uns nur klar werden, wenn wir die wahre Natur der in Betracht kommenden Kräfte erkannt und das Räthsel des unsichtbaren Mechanismus gelöst haben.

Als Dynamomaschine betrachtet, ist die Scheibe ein ebenso interessantes Objekt für das Studium. Abgesehen von der Eigenthümlichkeit, dass sie Ströme einer Richtung ohne Anwendung von Kommutirungs-

*) Artikel von Tesla im „Electrical Engineer" N. Y., 2. Sept. 1891.

vorrichtungen giebt, unterscheidet sich eine solche Maschine von gewöhnlichen Dynamomaschinen dadurch, dass keine Reaktion zwischen Anker und Feld stattfindet. Der Ankerstrom sucht eine Magnetisirung rechtwinklig zu derjenigen des Feldmagnetstromes hervorzubringen, da aber der Strom gleichmässig von allen Punkten der Peripherie abgenommen wird und da, um exakt zu sein, der äussere Stromkreis vollkommen symmetrisch zum Feldmagneten angeordnet sein kann, so kann keine Reaktion stattfinden. Dies ist jedoch nur so lange richtig, als die Magnete schwach erregt sind, denn wenn die Magnete mehr oder weniger gesättigt sind, scheinen sich beide zu einander senkrechte Magnetisirungen gegenseitig zu beeinflussen.

Aus dem obigen Grunde allein würde hervorgehen, dass die Leistung einer solchen Maschine bei gleichem Gewichte viel grösser sein müsste, als die jeder anderen Maschine, bei welcher der Ankerstrom das Feld zu entmagnetisiren sucht. Die ausserordentliche Leistungsfähigkeit der Forbes'schen Unipolarmaschine und die Erfahrung des Verfassers bestätigen diese Ansicht.

Ferner ist die Leichtigkeit, mit welcher eine solche Maschine selbsterregend gemacht werden kann, überraschend, doch kann dies, abgesehen von dem Fehlen der Ankerreaktion, seinen Grund in der vollkommenen Gleichmässigkeit des Stromes und in dem Nichtvorhandensein von Selbstinduktion seinen Grund haben.

Wenn die Polflächen die Scheibe auf beiden Seiten nicht vollständig bedecken, so wird natürlich die Maschine, wofern nicht die Scheibe passend untertheilt ist, sehr wenig leistungsfähig sein. Dagegen giebt es in diesem Falle einige Punkte, die Beachtung verdienen. Wird die Scheibe rotirt und der Feldmagnetstrom unterbrochen, so fährt der Strom durch den Anker weiter fort zu fliessen und die Feldmagnete verlieren verhältnissmässig langsam ihre Stärke. Der Grund hiervon wird sogleich ersichtlich werden, wenn wir die Richtung der in der Scheibe erzeugten Ströme betrachten.

In dem Diagramm Fig. 292 stellt *d* die Scheibe mit den Schleifkontakten BB' auf der Welle und der Peripherie dar. N und S bedeuten die beiden Pole eines Magnets. Befindet sich der Pol N, wie in dem Diagramm angedeutet, oben, wenn man sich die Scheibe in der Ebene des Papiers liegend und in der Richtung des Pfeiles D rotirend denkt, so fliesst der in der Scheibe erzeugte Strom vom Mittelpunkt nach der Peripherie, wie in der Figur durch den Pfeil A angedeutet ist. Da die magnetische Wirkung mehr oder weniger auf den Raum zwischen den Polen NS beschränkt ist, können die andern Theile der Scheibe als un-

wirksam betrachtet werden. Der erzeugte Strom wird daher nicht vollständig durch den äusseren Stromkreis F gehen, sondern wird sich durch die Scheibe selbst schliessen, und überhaupt wird, wenn die Disposition der in der Figur dargestellten irgendwie ähnlich ist, bei weitem der grössere Theil des erzeugten Stromes nicht nach aussen hin in die Erscheinung treten, da der Stromkreis F durch die unwirksamen Theile der Scheibe praktisch kurzgeschlossen ist. Die Richtung der resultirenden Ströme in der letzteren kann man sich durch die gestrichelten Linien und Pfeile m und n angedeutet denken; und wenn die Richtung des Erregungsstromes durch die Pfeile $a\ b\ c\ d$ angedeutet wird, so zeigt ein

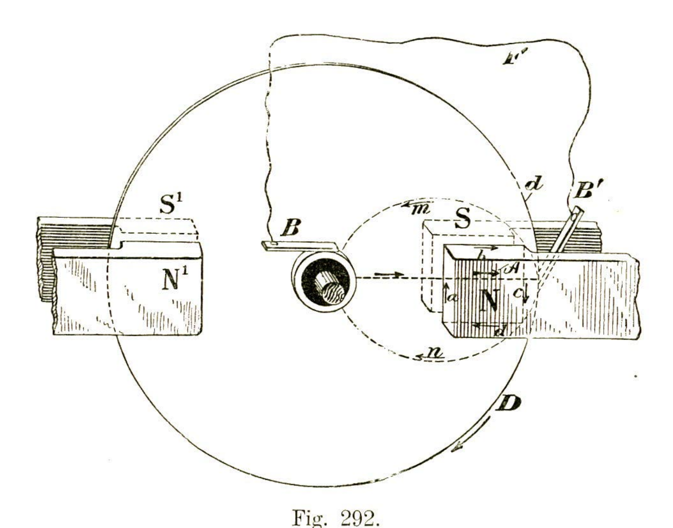


Fig. 292.

Blick auf die Figur, dass einer der beiden Zweige des Wirbelstromes, d. h. $AB'mB$, das Feld zu entmagnetisiren sucht, während der andere Zweig, d. h. $AB'nB$, die entgegengesetzte Wirkung hat. Daher wird der Zweig $AB'mB$, also derjenige, welcher sich dem Felde n ä h e r t, die Kraftlinien desselben zurückdrängen, während Zweig $AB'nB$, also derjenige, welcher das Feld v e r l ä s s t, die Kraftlinien auf sich koncentrirt.

Infolge dessen ist eine beständige Tendenz vorhanden, den Stromfluss in der Bahn $AB'mB$ zu verringern, während andererseits in der Bahn $AB'nB$ kein solches Hinderniss vorhanden ist; die Wirkung des letzteren Zweiges wird daher mehr oder weniger diejenige des ersteren überwiegen. Die vereinigte Wirkung beider angenommener Zweigströme könnte durch die Wirkung eines einzigen Stromes von derselben Richtung

wie diejenige des Felderregungsstromes dargestellt werden. Mit andern Worten, die in der Scheibe kreisenden Wirbelströme werden den Feldmagnet erregen. Dieses Resultat ist ganz entgegengesetzt demjenigen, welches man auf den ersten Blick erwarten sollte, denn man würde natürlich erwarten, dass die resultirende Wirkung der Ankerströme derjenigen des Feldstromes entgegengesetzt ist, wie es gewöhnlich der Fall ist, wenn ein primärer und ein sekundärer Leiter in induktive Beziehung zu einander gesetzt werden. Aber man muss dabei in Betracht ziehen, dass sich dies aus der besonderen Anordnung in diesem Falle ergiebt, nämlich dass dem Strome zwei Wege dargeboten werden und der letztere denjenigen Weg wählt, welcher ihm den geringsten Widerstand entgegensetzt. Hieraus sieht man, dass die in der Scheibe fliessenden Wirbelströme zum Theil das Feld erregen, und aus diesem Grunde werden, wenn der Feldstrom unterbrochen wird, die Ströme in der Scheibe weiter fliessen und der Feldmagnet wird seine Stärke verhältnissmässig langsam verlieren und kann sogar eine gewisse Stärke behalten, so lange die Rotation der Scheibe fortgesetzt wird.

Das Resultat hängt natürlich erheblich von dem Widerstande und den geometrischen Dimensionen der Bahn des resultirenden Wirbelstromes und von der Rotationsgeschwindigkeit ab; diese Elemente bestimmen nämlich die Verzögerung dieses Stromes und seine relative Lage zu dem Felde. Für eine bestimmte Geschwindigkeit würde es eine maximale Erregungswirkung geben; bei höheren Geschwindigkeiten würde sie dann allmählich zu Null herabsinken und sich schliesslich umkehren, d. h. der resultirende Wirbelstrom würde eine Schwächung des Feldes zur Folge haben. Die Reaktion würde sich am besten experimentell nachweisen lassen, wenn man die Feldmagnete $N\,S$, $N'\,S'$ auf einer mit der Welle der Scheibe koncentrischen Achse frei beweglich anordnete. Würde die Scheibe wie vorher in der Richtung des Pfeiles D rotirt, so würde das Feld in derselben Richtung mit einer Zugkraft mitgezogen werden, welche bis zu einem gewissen Punkte mit der Rotationsgeschwindigkeit zunimmt, alsdann abfällt und durch Null hindurchgehend schliesslich negativ wird, d. h. das Feld würde in entgegengesetzter Richtung wie die Scheibe zu rotiren beginnen. Bei Versuchen mit Wechselstrommotoren, in denen das Feld durch Ströme von verschiedener Phase verschoben wurde, ist dieses interessante Resultat beobachtet worden. Bei ziemlich niedrigen Drehungsgeschwindigkeiten des Feldes würde der Motor eine Zugkraft von 400 kg oder mehr, gemessen an einer Triebscheibe von 30 cm Durchmesser, ergeben. Würde die Rotationsgeschwindigkeit der Pole vergrössert, so würde die Zugkraft abnehmen, schliesslich zu Null herab-

sinken, würde negativ werden und dann der Anker sich in entgegengesetzter Richtung wie das Feld zu drehen beginnen.

Um zu dem Hauptgegenstande zurückzukehren, nehmen wir an, die Verhältnisse seien derart, dass die durch die Rotation der Scheibe erzeugten Wirbelströme das Feld verstärken, und denken uns das letztere allmählich entfernt, während die Scheibe mit wachsender Geschwindigkeit rotirt wird. Der Strom kann dann, einmal in Gang gebracht, genügend sein, um sich selbst zu unterhalten, oder sogar an Stärke zunehmen; alsdann haben wir den Fall des „Stromakkumulators" von Sir William Thomson. Aus den obigen Betrachtungen würde aber hervorgehen, dass für den Erfolg des Versuches die Anwendung einer nicht untertheilten*) Scheibe wesentlich ist; denn wenn eine radiale

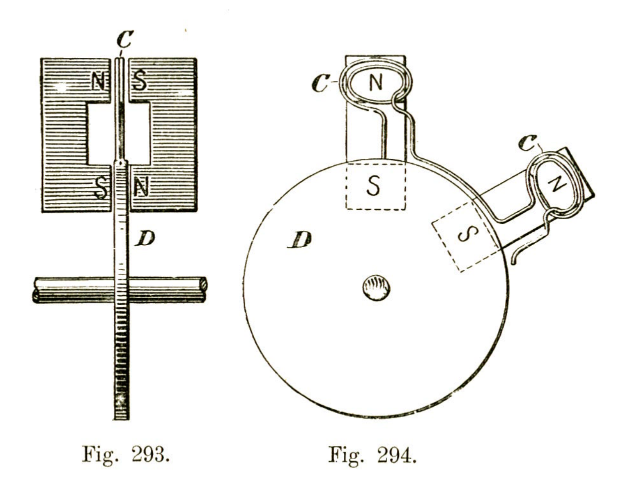


Fig. 293. Fig. 294.

Untertheilung vorhanden wäre, so könnten keine Wirbelströme entstehen und die Selbsterregung würde fortfallen. Bei Anwendung einer solchen radial untertheilten Scheibe müsste man nothwendig die Speichen durch einen leitenden Reifen oder in anderer geeigneter Weise verbinden, so dass ein symmetrisches System geschlossener Stromkreise entsteht.

Die Wirkung der Wirbelströme kann zur Erregung einer Maschine von beliebiger Konstruktion benutzt werden. Z. B. ist in den Fig. 293

*) Tesla bezieht sich hier auf einen interessanten im „Phil. Magazine" vom Juli 1865 erschienenen Artikel von Sir William Thomson, in welchem letzterer bei Beschreibung seines „Gleichstromakkumulators" annimmt, dass es zur Selbsterregung wünschenswerth sei, die Scheibe zur Verhütung der Streuung des Stromes in unendlich viele unendlich dünne Speichen zu theilen. Tesla zeigt, dass die Streuung für die Erregung absolut nothwendig ist und dass, wenn die Scheibe untertheilt ist, eine Erregung nicht stattfinden kann.

und 294 eine Anordnung dargestellt, durch welche eine Maschine mit Scheibenanker erregt werden könnte. Hier sind eine Anzahl Magnete *NS*, *NS* in radialer Richtung zu beiden Seiten einer Metallscheibe *D* angeordnet, welche auf ihrem äusseren Rande eine Reihe isolirter Spulen *CC* trägt. Die Magnete bilden zwei separate Felder, ein inneres und ein äusseres, wobei die massive Scheibe innerhalb des der Achse zunächst gelegenen, die Spulen in dem weiter entfernten Felde rotiren. Man denke sich die Magnete anfangs etwas erregt; dieselben könnten dann durch die Wirkung der Wirbelströme in der massiven Scheibe derart verstärkt werden, dass sie für die Spulen an der Peripherie ein stärkeres Feld erzeugen. Obwohl unzweifelhaft auf diese oder ähnliche Weise unter geeigneten Bedingungen eine Maschine erregt werden könnte, da Versuche eine solche Behauptung hinreichend rechtfertigen, so würde eine solche Erregung doch sehr unökonomisch sein.

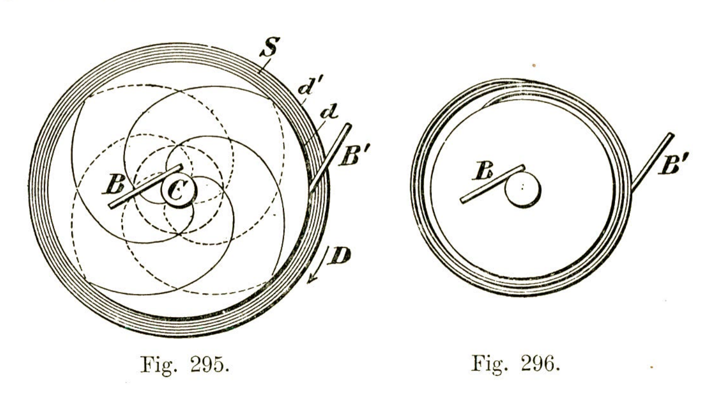


Fig. 295. Fig. 296.

Eine unipolare Dynamomaschine oder ein ebensolcher Motor, von der aus Fig. 292 ersichtlichen Art, kann aber in wirksamer Weise durch einfache angemessene Untertheilung der Scheibe oder des Cylinders, in welchem die Ströme erzeugt werden, erregt werden, und es ist möglich, die gewöhnlich verwendeten Feldspulen wegzulassen. Eine solche Methode ist in Fig. 295 dargestellt. Die Scheibe oder den Cylinder *D* denke man sich so angeordnet, dass sie zwischen den Polen *N* und *S* eines Magneten, der sie zu beiden Seiten vollständig umgiebt, rotiren können. Die Contouren der Scheibe und der Pole sind respektive durch die Kreise *d* und *d'* dargestellt, während der obere Pol der Deutlichkeit halber weggelassen ist. Die Magnetkerne sind hohl gedacht und die Welle *C* der Scheibe geht durch sie hindurch. Wenn der nichtbezeichnete Pol unten ist und die Scheibe schraubenförmig gedreht wird, so wird der Strom wie vorher von dem Mittelpunkte nach der Peripherie

fliessen und kann mittels geeigneter Schleifkontakte BB' an der Welle und der Peripherie abgenommen werden. Bei dieser Anordnung wird der durch die Scheibe und den äusseren Stromkreis fliessende Strom keine wahrnehmbare Wirkung auf den Feldmagnet ausüben.

Wir wollen nun aber annehmen, dass die Scheibe spiralförmig untertheilt sei, in der Art wie durch die ausgezogenen oder durch die gestrichelten Linien Fig. 295 angedeutet ist. Die Spannungsdifferenz zwischen einem Punkte an der Welle und einem Punkte an der Peripherie wird sowohl ihrem Vorzeichen wie ihrem Betrage nach ungeändert bleiben. Der einzige Unterschied wird sein, dass der Widerstand der Scheibe vergrössert wird und dass bei gleichem Strom durch den äusseren Stromkreis ein grösserer Spannungsabfall von einem Punkte an der Welle bis zu einem Punkte an der Peripherie stattfindet. Da aber der Strom den Untertheilungslinien zu folgen genöthigt ist, so ist ersichtlich, dass derselbe das Feld entweder zu magnetisiren oder zu entmagnetisiren strebt, und zwar hängt dies unter sonst gleichen Umständen von der Richtung der Untertheilungslinien ab. Ist die Untertheilung derart, wie in der Fig. 295 durch ausgezogene Linien angedeutet, so ist klar, dass, wenn der Strom dieselbe Richtung hat wie vorher, d. h. vom Mittelpunkt nach der Peripherie geht, derselbe eine Verstärkung des Feldmagneten zur Folge hat, während, wenn die Untertheilung so ist, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet, der erzeugte Strom den Magnet zu schwächen sucht. Im ersten Falle vermag die Maschine sich selbst zu erregen, wenn die Scheibe in der Richtung des Pfeiles D rotirt wird; im letzteren Falle muss die Rotationsrichtung umgekehrt sein. Es können jedoch, wie angegeben, zwei solche Scheiben mit einander kombinirt werden, wobei die beiden Scheiben in entgegengesetzten Feldern und in derselben oder in entgegengesetzter Richtung rotiren.

Eine ähnliche Anordnung kann natürlich bei einer Maschine getroffen werden, bei welcher an Stelle einer Scheibe ein Cylinder rotirt. Bei solchen unipolaren Maschinen können die gewöhnlichen Feldspulen und Pole weggelassen werden und die Maschine braucht nur aus einem Cylinder oder zwei Scheiben, die von einem Metallgehäuse umgeben sind, zu bestehen.

Anstatt die Scheibe oder den Cylinder spiralförmig, wie in Fig. 295 angegeben, zu untertheilen, ist es bequemer, eine oder mehrere Windungen zwischen die Scheibe und den Kontaktring an der Peripherie zu legen, wie in Fig. 296 veranschaulicht ist.

Eine Forbes'sche Dynamo kann beispielsweise auf diese Weise erregt werden. Der Verfasser hat durch Erfahrung gefunden, dass man,

anstatt den Strom von zwei solchen Scheiben wie gewöhnlich durch Schleifkontakte abzunehmen, einen biegsamen leitenden Riemen mit Vortheil verwenden kann. Die Scheiben werden in solchem Falle mit breiten Flanschen versehen, welche eine sehr grosse Kontaktfläche darbieten. Die Riemen sollten mittels Federdruckes auf die Flanschen drücken, um die Expansion auszugleichen. Der Verfasser hat vor zwei Jahren mehrere Maschinen mit Riemenkontakten gebaut, welche befriedigend funktionirten, aus Mangel an Zeit aber mussten die bezüglichen Arbeiten vorläufig verschoben werden. Einige der oben dargelegten Eigenthümlichkeiten hat der Verfasser auch bei einigen Typen von Wechselstrommotoren benutzt.“



IV. Abschnitt.

Anhang. — Tesla's erste Phasenmotoren und sein mechanischer und elektrischer Oscillator.



42. Kapitel.

Tesla's Ausstellung auf der Chicagoer Weltausstellung.

Während die Ausstellungen der sich mit der Fabrikation elektrischer Apparate jeglicher Art abgebenden Firmen auf der Chicagoer Weltausstellung dem Besucher reichliche Gelegenheit gaben, sich eine ausgezeichnete Kenntniss von dem gegenwärtigen Stande der Elektrotechnik zu verschaffen, dienten einige Separatausstellungen dazu, die Arbeit des einzelnen Erfinders, die für die meisten wenn nicht für alle Erzeugnisse der Industrie und Technik die Grundlage bildet, ins Licht zu setzen. Einen hervorragenden Platz unter solchen Einzelausstellungen nahm die Ausstellung Tesla's ein, dessen Apparate auf dem Platze der Westinghouse Company im Elektricitätsgebäude untergebracht waren.

Diese Apparate stellten die Resultate einer sich über einen Zeitraum von zehn Jahren erstreckenden Arbeit und Geistesthätigkeit dar. Sie umfassten eine grosse Anzahl verschiedener Wechselstrommotoren und Tesla's früheste Apparate für hohe Frequenz. Die Motorenausstellung enthielt eine grosse Mannigfaltigkeit an Feldmagneten und Ankern für zwei-, drei- oder mehrphasige Stromkreise und gab eine hübsche Vorstellung von der allmählichen Entwickelung der Grundidee des rotirenden magnetischen Feldes. Die Ausstellung für hohe Frequenz enthielt Tesla's früheste Maschinen und Spulen für disruptive Entladung, sowie Transformatoren für hohe Frequenz, die er bei seinen Untersuchungen benutzte und von denen einige in den in diesem Buche abgedruckten Vorträgen erwähnt sind.

Fig. 297 zeigt eine Ansicht des die Motorapparate enthaltenden Theiles seiner Ausstellung. Unter den Gegenständen sieht man bei *A* einen grossen Ring, mittels dessen die Erscheinungen des rotirenden magnetischen Feldes vorgeführt werden sollten. Das erzeugte Feld war äusserst kräftig und ergab überraschende Wirkungen, indem es kupferne Bälle und Eier und Körper von verschiedener Gestalt in beträchtlicher Entfernung und mit grosser Geschwindigkeit in Rotation versetzte. Dieser Ring war für Zweiphasenstromkreise gewickelt und die Wickelung war derart vertheilt, dass ein praktisch gleichförmiges Feld erhalten wurde. Der Ring war für die Tesla'sche Ausstellung von Herrn C. F. Scott, Elektriker der Westinghouse Electric and Manufacturing Company, hergestellt worden.

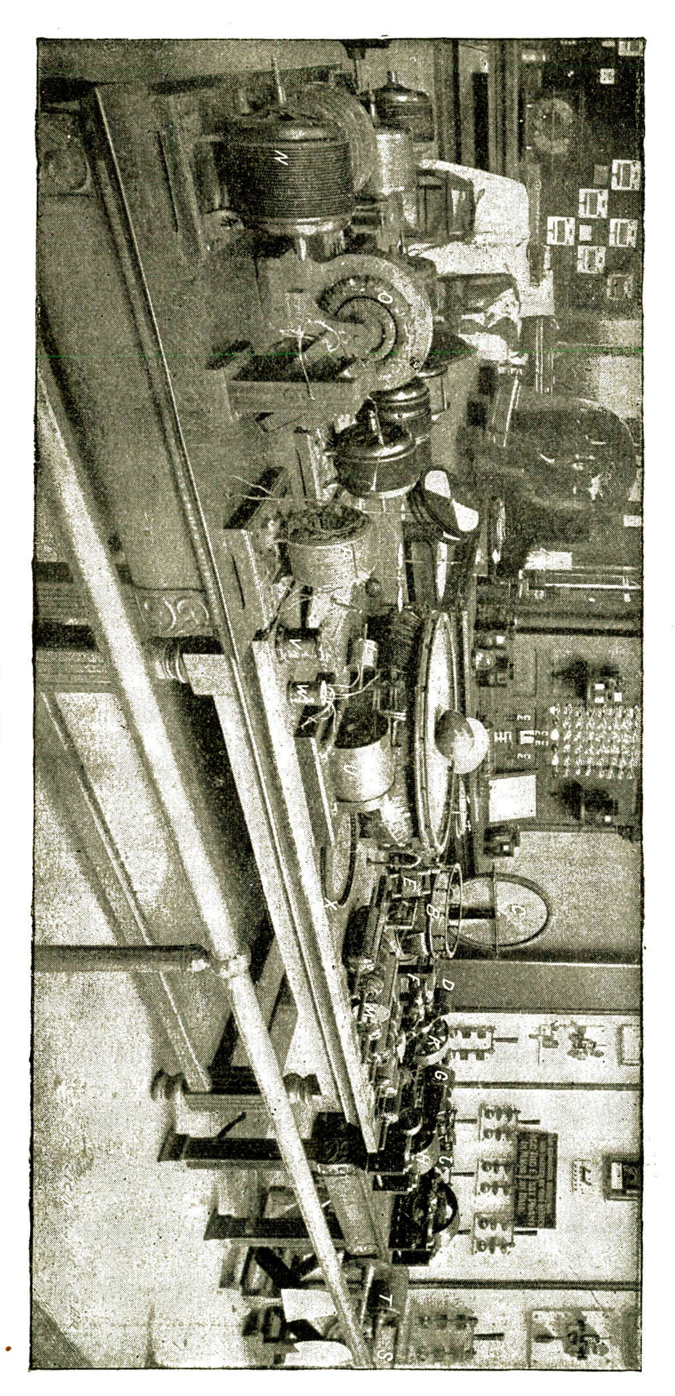


Fig. 927.

Ein kleinerer Ring (*B* Fig. 297) war ähnlich wie der bei *A* ausgestellte angeordnet, aber speciell dazu bestimmt, die Rotation eines Ankers in einem rotirenden Felde zu zeigen. In Verbindung mit diesen beiden Ringen war ein interessanter Gegenstand ausgestellt, bestehend aus einem Magnet mit einer Spule, wobei der Magnet sich in Lagern drehen konnte. Mit diesem Magnet bewies Tesla zuerst die Identität zwischen einem rotirenden Felde und einem rotirenden Magneten; der letztere zeigte bei der Rotation dieselben Erscheinungen wie die Ringe, wenn sie durch Ströme von verschiedener Phase erregt wurden. Einen anderen hervorragenden Ausstellungsgegenstand bildete ein in der Abbildung mit *C* bezeichnetes Modell, welches sowohl einen Zweiphasenmotor als auch einen Induktionsmotor und Transformator darstellt. Dasselbe besteht aus einem grossen äusseren Ringe aus untertheiltem Eisen, der mit zwei übereinander liegenden separaten Wickelungen versehen ist, die in verschiedener Weise geschaltet werden können. Dies ist eines der ersten Modelle, die von Tesla als Induktionsmotor und rotirender Transformator benutzt wurden. Der Anker war entweder eine Stahl- oder Schmiedeeisen-Scheibe mit geschlossener Wickelung. Wurde der Motor von einem Zweiphasengenerator bethätigt, so wurden die Wickelungen wie gewöhnlich in zwei Gruppen geschaltet. Wurde er als Induktionsmotor benutzt, so wurde der in der einen Wickelung des Ringes inducirte Strom durch die andere Wickelung auf dem Ringe geschickt und auf diese Weise der Motor mit nur zwei Drähten bethätigt. Wurde er endlich als Transformator verwendet, so diente beispielsweise die äussere Wickelung als sekundäre und die innere als primäre Spule. Das in *D* dargestellte Modell ist einer der ersten Drehfeldmotoren und besteht aus einem dünnen Eisenringe, der mit zwei Gruppen von Spulen bewickelt ist, und einem Anker, der aus einer Reihe von theilweise weggeschnittenen und auf einer kleinen Welle angeordneten Stahlscheiben besteht.

Bei *E* ist einer der ersten Drehfeld- oder Induktionsmotoren ersichtlich, der für die Regulirung einer Bogenlampe und für andere Zwecke benutzt wurde. Derselbe enthält einen Ring aus Scheiben mit zwei Spulensätzen von verschiedener Selbstinduktion, und zwar ist der eine Satz aus Neusilber-, der andere aus Kupferdraht hergestellt. Der Anker ist mit zwei rechtwinklig zu einander gewundenen geschlossenen Wickelungen versehen. An der Ankerwelle sind Hebel und andere Vorrichtungen zur Ausführung der Regulirung angebracht. Bei *F* sieht man ein Modell eines Motors mit magnetischer Verzögerung; dasselbe umfasst ein Gussstück mit aus zwei Spulen herausragenden Polansätzen, zwischen

denen ein Eisenkörper drehbar angeordnet ist. Wird ein Wechselstrom durch die beiden Spulen gesandt, so werden die Polvorsprünge des Feldes und des Ankers in demselben gleichnamig magnetisirt und nach dem Aufhören oder der Umkehrung des Stromes stossen der Anker und das Feld einander ab, wodurch eine Rotation entsteht.

Ein anderer interessanter Gegenstand, der bei *G* ersichtlich ist, ist ein früheres Modell eines durch Ströme von verschiedener Phase erregten Motors mit zwei Feldern. Es sind zwei von einander unabhängige durch Messingbolzen verbundene Felder aus untertheiltem Eisen vorhanden; in jedem Felde ist ein Anker montirt, welche beiden Anker auf dieselbe Welle gesetzt sind. Die Anker waren ursprünglich derart angeordnet, dass sie in jede beliebige Lage zu einander gebracht werden konnten, und die Felder waren ebenfalls derart eingerichtet, dass sich mehrere Schaltungen ausführen liessen. Der Motor wurde zur Vorführung verschiedener Erscheinungen verwendet, unter anderm diente er als Dynamo zur Erzeugung von Strömen von sehr verschiedener Frequenz. In diesem Falle wurde das Feld, anstatt durch Gleichstrom, durch Ströme von verschiedener Phase erregt, die eine Drehung des Feldes zur Folge hatten; der Anker wurde dann in der mit der Bewegung des Feldes übereinstimmenden oder in entgegengesetzter Richtung rotirt und auf diese Weise eine — geringe bis hohe — Anzahl von Wechseln der in dem Anker inducirten Ströme erhalten, welche Anzahl durch die Frequenz der Felderregungsspulen und die Geschwindigkeit des Ankers bestimmt ist.

Die Modelle *H*, *I*, *J* stellen einige Synchronmotoren mit Drehfeld dar, die bei Kraftübertragungen auf weite Entfernungen von besonderem Werthe sind. Das in diesen Motoren zur Anwendung gebrachte Princip wurde von Tesla in seinem Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers im Mai 1888*) angegeben. Es besteht in der Erzeugung des rotirenden Feldes in dem einen Elemente des Motors vermittels phasenverschiedener Ströme und in der Erregung des andern Elements durch Gleichströme. Die Anker sind von der zwei- und dreiphasigen Type. *K* ist ein Modell eines Motors, der in Fig. 298 vergrössert dargestellt ist. Diese Maschine wurde zugleich mit der in Fig. 299 dargestellten in demselben Vortrage im Mai 1888 vorgeführt. Es sind dies die ersten Drehfeldmotoren, welche für sich geprüft wurden, nachdem sie zu diesem Zwecke im Winter 1887/88 Herrn Prof. Anthony übergeben worden waren. Aus diesen Probeversuchen ging hervor, dass

*) Vergl. I. Abschnitt, 3. Kapitel S. 7.

der Wirkungsgrad und die Leistung dieser Motoren in jeder Hinsicht durchaus zufriedenstellend waren.

Es war zunächst beabsichtigt, auch das in Fig. 299 dargestellte Modell auszustellen, doch war dasselbe für diesen Zweck nicht erhältlich

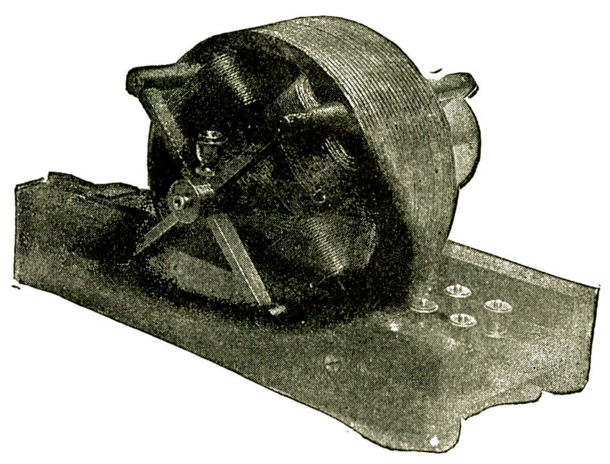


Fig. 298.

infolge des Umstandes, dass es einige Zeit zuvor Herrn Prof. Ayrton in England übersandt worden war. Dieses Modell war ursprünglich mit zwölf unabhängigen Spulen versehen. Diese Zahl wurde, da sie durch

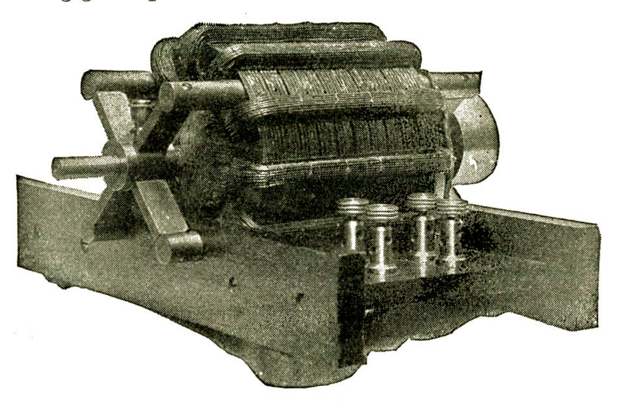


Fig. 299.

2 und 3 theilbar ist, nach den Darlegungen Tesla's in seinem ersten Vortrage aus dem Grunde gewählt, um verschiedene Schaltungen für Zwei- und Dreiphasenströme vornehmen zu können. Während der Tesla'schen Versuche wurde die Maschine in mannigfacher Weise für zwei bis zu sechs Phasen verwendet. Das Modell Fig. 298 besteht aus

einem Magnetgestell aus untertheiltem Eisen mit vier Polvorsprüngen, zwischen denen ein Anker von durch das Gestell hindurchgehenden Messingbolzen getragen wird. In Verbindung mit diesen beiden und mit andern Feldmagneten können Anker von mannigfacher Art verwendet werden. Einige der Anker sind vorn auf dem Tische Fig. 297 zu sehen und mehrere sind in etwas grösserem Maassstabe in den Fig. 300 bis 310 dargestellt. Ein interessanter Gegenstand ist der bei *L* Fig. 297 abgebildete. Es ist dies ein Anker aus gehärtetem Stahl, welcher bei

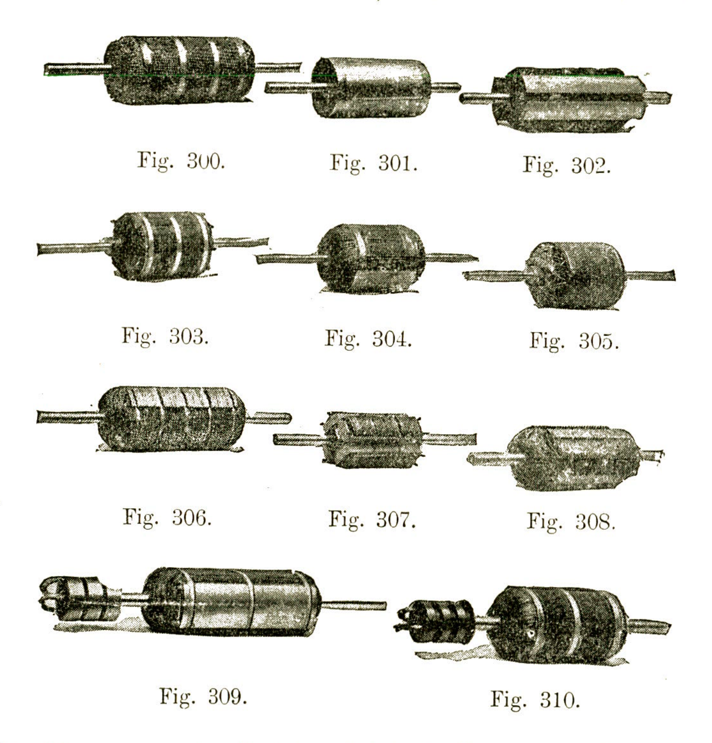


Fig. 300. Fig. 301. Fig. 302.

Fig. 303. Fig. 304. Fig. 305.

Fig. 306. Fig. 307. Fig. 308.

Fig. 309. Fig. 310.

einer Vorführung vor der Society of Arts in Boston von Prof. Anthony benutzt wurde. Ein anderer merkwürdiger Gegenstand ist vergrössert in Fig. 301 dargestellt. Derselbe besteht aus längsweise gestellten dicken Scheiben aus Schmiedeeisen, die von einer Kupfermasse umgossen sind. Die Scheiben sind longitudinal angeordnet, um durch die inducirten Ströme, welche in den Eisenscheiben entstehen, und die sich von denen im Kupfer in der Phase unterscheiden, ein leichteres Angehen zu veranlassen. Dieser Anker würde mit einem einzigen Stromkreise angehen und synchron laufen und stellt eine der frühesten Typen eines solchen Ankers dar. Fig. 305 ist ein anderer merkwürdiger Gegenstand. Es ist

dies eine der frühesten Typen eines Ankers mit Bohrungen unterhalb des Umfanges, in denen Kupferleiter eingebettet sind. Der Anker hat acht geschlossene Stromkreise und wurde in verschiedener Weise verwendet. Fig. 304 ist eine Type eines synchronen Ankers, bestehend aus einem Block aus weichem Stahl, der mit einer in sich geschlossenen Wickelung versehen ist. Dieser Anker wurde in Verbindung mit dem in Fig. 298 dargestellten Feldmagneten benutzt und gab ausgezeichnete Resultate.

Fig. 302 stellt einen synchronen Anker mit einer grossen Spule um einen Eisenkörper dar. Rechtwinklig zu der ersten ist noch eine sehr kleine Spule aufgewickelt. Diese kleine Spule wurde zur Verstärkung der Anlaufszugkraft benutzt und erwies sich für diesen Zweck sehr wirksam. Fig. 306 und 308 zeigen eine beliebte Ankerkonstruktion. Der Eisenkörper besteht aus zwei Gruppen ausgeschnittener Scheiben, die rechtwinklig zu einander stehen, während die Lücken mit Spulen versehen sind. Der in Fig. 308 dargestellte ist an jedem der von den Scheiben gebildeten Vorsprünge mit einer weiteren Nuthe versehen, zu dem Zwecke, durch einen auf diese Vorsprünge gewickelten Draht die Anlaufszugkraft zu vergrössern. Fig. 307 stellt eine Form eines ähnlich konstruirten Ankers aber mit vier von einander unabhängigen auf die vier Vorsprünge gewickelten Spulen dar. Dieser Anker wurde benutzt, um die Geschwindigkeit des Motors mit Bezug auf diejenige des Generators zu reduciren. Fig. 300 ist noch ein anderer Anker mit einer grossen Zahl unabhängiger in sich geschlossener Stromkreise, so dass alle todten Punkte auf dem Anker weggefallen sind und der Anker eine grosse Anlaufskraft besitzt. Fig. 303 ist eine andere Ankertype für einen vierpoligen Motor, aber mit auf eine glatte Fläche gewickelten Spulen. Mehrere dieser Anker haben hohle Wellen, da sie in verschiedener Weise benutzt wurden. Die Fig. 309 und 310 stellen Anker dar, denen entweder Wechsel- oder Gleichstrom mittels Schleifringen zugeführt wurde. Fig. 309 besteht aus einem Weicheisenkörper mit einer einzigen darauf gewickelten Spule, deren Enden mit zwei Schleifringen, denen in der Regel Gleichstrom zugeführt wurde, verbunden sind. Der in Fig. 310 dargestellte Anker hat drei isolirte Ringe auf einer Welle und wurde bei Zwei- oder Dreiphasenstromkreisen benutzt.

Alle diese vorgeführten Modelle stellen frühere Ausführungen dar, und die vergrösserten Abbildungen sind nach bereits im Jahre 1888 aufgenommenen Photographien hergestellt. Es waren noch eine grosse Anzahl anderer Modelle ausgestellt, die jedoch in der Abbildung Fig. 297 nicht deutlich zu erkennen sind. Z. B. ist bei *M* ein Modell eines

Motors abgebildet, der einen Anker mit hohler Welle enthält, welcher mit zwei oder drei Spulen für Zwei- oder Dreiphasenstromkreise bewickelt ist; der Anker war stationär angeordnet, und die Erregerstromkreise waren direkt mit dem Generator verbunden. Um den Anker ist, drehbar auf seiner Welle, ein sechs geschlossene Stromkreise bildendes Gussstück angeordnet. Aussen war dieses Gussstück glatt abgedreht und der Riemen zum Antriebe irgend einer beliebigen Arbeitsmaschine auf dasselbe aufgelegt. Auch dieses ist ein sehr frühes Modell.

Auf der linken Seite des Tisches ist eine grosse Zahl von Modellen *N*, *O*, *P* etc. mit Feldern von verschiedenen Formen ausgestellt. Jedes dieser Modelle veranschaulicht eine besondere Idee und sie alle stellen die allmähliche Entwickelung dar, die besonders interessant ist, insofern sie die Bemühungen Tesla's, sein System auf die vorhandenen Hochfrequenzmaschinen anzuwenden, zur Anschauung bringen.

An der rechten Seite des Tisches bei *S*, *T* waren auf besonderen Ständern grössere und vollkommenere Anker von in den Handel gelangten Motoren zu sehen, und in dem Raume um den Tisch herum waren verschiedene Motoren und Generatoren zur Speisung der ersteren ausgestellt.

Tesla's Ausstellung für Hochfrequenzerscheinungen umfasste seine ersten bei seinen Untersuchungen benutzten Originalapparate. Es war eine Glasröhre ausgestellt, die an ihrem oberen Theile mit einer Lage seideumsponnenen Drahtes bewickelt war und im Innern einen Kupferstreifen hatte. Es stellte diese die erste von ihm gefertigte Spule für disruptive Entladung dar. Bei *U* ist die disruptive Entladungsspule ersichtlich, welche er in seinem Vortrage vor dem American Institute of Electrical Engineers im Mai 1891*) vorzeigte. Bei *V* und *W* sind einige der ersten Transformatoren für hohe Frequenz ersichtlich. Ferner waren eine Anzahl verschiedener Feldmagnete und Anker kleiner Modelle für Hochfrequenzapparate, wie sie bei *X* und *Y* ersichtlich sind, und andere in der Abbildung nicht ersichtliche Gegenstände ausgestellt. Im angrenzenden Raume war die Dynamo ausgestellt, welche Tesla damals im Columbia College benutzte, sowie eine andere Form einer Dynamo für hohe Frequenz.

In diesem Raume war auch eine Batterie Leydener Flaschen sowie seine grosse disruptive Entladungsspule aufgestellt, die er zur Vorführung der Lichterscheinungen in dem angrenzenden dunklen Raume benutzte. Die Spule wurde mit nur einem kleinen Bruchtheile ihrer Kapacität be-

---

*) Vergl. II. Abschnitt, 26. Kapitel, S. 141.

trieben, da die erforderlichen Kondensatoren und Transformatoren nicht zur Hand waren und Tesla's Aufenthalt in Chicago sich auf eine Woche beschränkte; trotzdem waren die vorgeführten Erscheinungen überraschend. In dem Zimmer waren zwei grosse Platten in einem Abstande von etwa $5\,^1/_2$ m aufgestellt. Zwischen diesen standen zwei lange Tische mit allen Sorten phosphorescirender Birnen und Röhren; viele von diesen waren mit grosser Sorgfalt angefertigt und mit denjenigen Namen bezeichnet, die in phosphorescirendem Lichte erscheinen sollten. Unter diesen befanden sich einige mit den Namen Helmholtz, Faraday, Maxwell, Henry, Franklin u. s. w.; auch den grössten lebenden

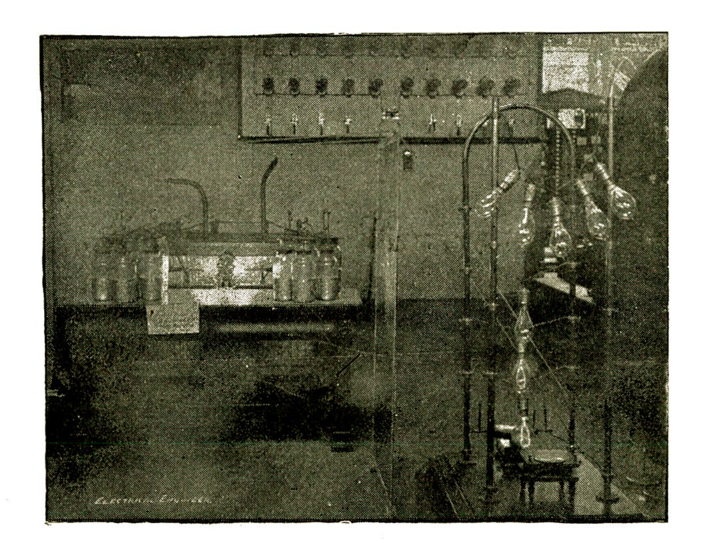


Fig. 311.

Dichter seiner Heimat Zwaj Jovan hatte er nicht vergessen. Zwei oder drei waren mit Inschriften wie „Willkommen, Elektriker!“ versehen und brachten einen prächtigen Effekt hervor. Jede derselben repräsentirte eine Phase seiner Arbeiten und diente zur Ausführung eines wichtigen Einzelversuches. Ausserhalb des Zimmers befand sich die kleine in Fig. 311 dargestellte Batterie zur Vorführung einiger Impedanzerscheinungen und anderer interessanter Phänomene. Z. B. war ein dicker in Bogenform gebogener Kupferstab mit Klammern zur Anbringung von Lampen versehen und einige solcher Lampen wurden an dem Stabe im Glühen erhalten. Ebenso war auf dem Tische ein kleiner Motor aufgestellt, der mittels disruptiver Entladung betrieben wurde.

Diejenigen, welche die Ausstellung besuchten, werden sich erinnern, dass die Westinghouse Company eine hübsche Zusammenstellung verschiedener industrieller Motoren des Tesla'schen Systems ausgestellt hatte, während die zwölf Generatoren in der Maschinenhalle nach dem Zweiphasentypus zur Vertheilung von Licht und Kraft gebaut waren. Auch einige Modelle seiner Oscillatoren hatte Tesla ausgestellt.

---

43. Kapitel.

Tesla's mechanischer und elektrischer Oscillator.

Am Abend des 25. August 1893 hielt Tesla vor den Mitgliedern des Elektrikerkongresses in der an das Ackerbaugebäude auf der Chicagoer Weltausstellung anstossenden Halle einen Vortrag über seinen mechanischen und elektrischen Oscillator. Abgesehen von den Apparaten in dem Saale benutzte er dazu einen von einem Elektromotor betriebenen Luftkompressor.

Tesla wurde von Dr. Elisha Gray eingeführt und begann seinen Vortrag mit der Bemerkung, dass er sich die Aufgabe gestellt hätte, erstens einen Mechanismus zu konstruiren, welcher Oscillationen von vollkommen konstanter Periode unabhängig, innerhalb weitester Grenzen, von dem angewendeten Dampf- oder Luftdruck und auch unabhängig von Reibungsverlusten und von der Belastung hervorzubringen vermöchte, und zweitens elektrische Ströme von vollkommen konstanter Periode unabhängig von den Betriebsverhältnissen zu erzeugen und zwar letzteres mit Hülfe eines Mechanismus, der in Bezug auf seine Wirkung verlässlich und sicher wäre und die Zuhülfenahme von Funkenstrecken und Unterbrechungsvorrichtungen nicht erforderte. Dies erreichte er sehr erfolgreich mit seinen Apparaten, mit deren Hülfe nunmehr wissenschaftliche Forscher im Stande sein werden, Untersuchungen über Wechselströme mit grosser Genauigkeit auszuführen. Diese beiden Erfindungen nannte Tesla ganz zweckmässig respektive einen mechanischen und einen elektrischen Oscillator.

Die Konstruktion des ersteren ist im Wesentlichen folgende: In einem Cylinder ist ein Kolben angeordnet, der sich durch geeignete Disposition der Theile automatisch hin- und herbewegt. Tesla führte an, dass er auf die Vervollkommnung seines Apparates, um ihn für die beabsichtigte hohe Frequenz möglichst leistungsfähig zu gestalten,

viele Mühe und Arbeit verwendet habe, doch liess er sich auf die vielen Schwierigkeiten, die er zu überwinden hatte, nicht näher ein. Dagegen zeigte er die Stücke einer Stahlwelle vor, die bei dem Vibriren gegen ein kleines Luftpolster thatsächlich auseinandergeborsten war.

Mit dem oben erwähnten Kolben ist bei einem der Modelle in einer unabhängigen Kammer eine Luftfeder oder Oeldämpfung verbunden; bei andern ist die Feder innerhalb der Kammern des Oscillators selbst enthalten. Um die Zweckmässigkeit dieser Anordnung zu würdigen, braucht nur angeführt zu werden, dass bei der vorgeführten Disposition die Schwingungen der Feder, mochte die Stärke der Feder und das Gewicht der beweglichen Theile oder, mit andern Worten, mochte die Schwingungsperiode sein, welche sie wollte, stets isochron mit dem angewendeten Drucke waren. Infolgedessen sind die mit diesen Vibrationen erzielten Resultate wahrhaft wundervoll. Tesla wandte eine Luftfeder von kolossaler Spannung an und war im Stande, infolge des Rückstosses der Feder schwere Gewichte in Schwingungen von in Anbetracht der Trägheit enormer Geschwindigkeit zu versetzen. Bei einem dieser Versuche wurde z. B. ein Gewicht von annähernd 9 kg mit einer Geschwindigkeit von etwa 80 Schwingungen in der Sekunde und mit einem Hube von ca. 22 mm bewegt, und bei Verkürzung des Hubes konnte das Gewicht viele Hundert Mal in der Sekunde hin- und herbewegt werden, wie es bei andern Versuchen wirklich der Fall war.

Die Einleitung der Schwingungen erfolgt durch einen kräftigen Stoss, doch kann die Adjustirung so eingerichtet werden, dass zur Ingangsetzung nur eine geringe Kraft erforderlich ist, und selbst ohne jede besondere Vorrichtung kann der Apparat durch blosses plötzliches Einschalten des Druckes in Gang gesetzt werden. Da die Schwingungen natürlich isochron sind, so bringt jede Aenderung des Druckes nur eine Verkürzung oder Verlängerung des Hubes hervor. Tesla zeigte eine Anzahl sehr deutlicher Zeichnungen vor, welche die Konstruktion des Apparates veranschaulichten und aus denen die Wirkungsweise desselben klar erkennbar war. Um den Druck innerhalb des Luftkissens und der äusseren Atmosphäre gleichzumachen, sind besondere Vorkehrungen getroffen. Zu diesem Zwecke kommuniciren die inneren Kammern des Luftkissens mit der äusseren Atmosphäre in solcher Weise, dass, wie sich auch die Temperatur der eingeschlossenen Luft ändern möge, die letztere doch dieselbe mittlere Dichtigkeit wie die äussere Atmosphäre behält, wodurch eine Feder von konstanter Spannung erhalten wird. Nun kann sich natürlich der Druck der Atmosphäre ändern, und dadurch würde auch die Spannung der Feder und demgemäss die

Schwingungsperiode geändert werden, und diese Eigenthümlichkeit bildet eine der grössten Schönheiten des Apparates; dieses mechanische System wirkt nämlich, wie Tesla anführte, genau so wie eine zwischen zwei Punkten straff ausgespannte Saite mit festen Knoten, so dass geringe Aenderungen der Spannung nicht im mindesten die Schwingungsperiode alteriren.

Ein solcher Apparat lässt natürlich zahlreiche, auf der Hand liegende Anwendungen zu. Die erste betrifft natürlich die Erzeugung elektrischer Ströme. Mit Hülfe einer Anzahl auf dem Vorlesungstische ausgestellter Modelle und Apparate zeigte Tesla, wie dies in der Praxis durch Kombination eines elektrischen Generators mit seinem Oscillator erreicht werden kann. Er gab an, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die Schwingungsperiode des elektrischen Systems nicht in solcher Weise die mechanische Oscillation stören könne, dass dadurch die Periodicität geändert werde, dass sie vielmehr nur den Hub verkürze. Er kombinirt einen Kondensator mit einer Selbstinduktion und giebt dem elektrischen System dieselbe Periode wie diejenige, bei welcher die Maschine selbst oscillirt, so dass beide zusammen leicht in Tritt fallen und elektrische und mechanische Resonanz erreicht und absolut unverändert erhalten wird.

Sodann zeigte er ein Modell eines Motors mit delikatem Räderwerk vor, welcher von diesen Strömen mit konstanter Geschwindigkeit betrieben wurde, gleichgültig welches der angewendete Luftdruck war, so dass dieser Motor als Uhr benutzt werden konnte. Er zeigte auch eine Uhr von solcher Konstruktion vor, dass dieselbe an einem der Oscillatoren angebracht werden könnte und absolut richtige Zeit angeben würde. Eine andere merkwürdige und interessante Eigenthümlichkeit, auf welche Tesla hinwies, war die, dass er, anstatt die Bewegung des hin- und hergehenden Kolbens behufs Erzielung isochroner Schwingungen mittels einer Feder zu reguliren, die Regulirung der mechanischen Bewegung auch durch die natürliche Schwingung des elektromagnetischen Systems bewirken konnte, und zwar ist diese Sache, wie er meinte, sehr einfach und liegt ganz ähnlich wie bei einem Pendel. Angenommen nämlich, wir hätten ein Pendel, am besten von grossem Gewicht, welches durch eine periodisch wirkende Kraft in Schwingung erhalten wird; dann wird diese Kraft, wie sie auch immer variiren möge, zwar das Pendel in Schwingungen erhalten, aber doch nicht im Stande sein, die Schwingungsdauer desselben zu beeinflussen.

Tesla beschrieb ferner eine sehr interessante Erscheinung, die er durch einen Versuch erläuterte. Mit Hülfe dieses neuen Apparates ver-

mochte er einen Wechselstrom zu erzeugen, bei welchem die elektromotorische Kraft des in der einen Richtung erfolgenden Impulses diejenige des in der andern Richtung erfolgenden überwog, so dass eine ähnliche Wirkung wie bei einem Gleichstrome hervorgebracht wird. In der That sprach er die Hoffnung aus, dass derartige Ströme in vielen Fällen wie Gleichströme verwendet werden könnten. Den Vorgang des Ueberwiegens der elektromotorischen Kraft in der einen Richtung erklärt er folgendermassen: Angenommen, ein Leiter werde in das magnetische Feld geführt und dann plötzlich daraus entfernt. Wird der Strom nicht verzögert, so ist die geleistete Arbeit nur sehr gering; wird der Strom aber verzögert, so wirkt das magnetische Feld wie eine Feder. Man denke sich, dass die Bewegung des Leiters durch den erzeugten Strom gehemmt wird und dass im Augenblicke, wo seine Bewegung in das Feld hinein aufhört, in dem Leiter noch das Maximum des Stromes fliesst, dann wird dieser Strom dem Lenz'schen Gesetze zufolge den Leiter wieder aus dem Felde heraus treiben, und wenn der Leiter keinen Widerstand besässe, so würde derselbe das Feld mit der gleichen Geschwindigkeit verlassen, mit welcher er in dasselbe eintrat. Nun ist klar, dass, wenn das Hinaustreiben des Leiters aus dem Felde nicht allein durch den Strom bedingt ist, sondern noch durch die mechanisch wirkende Kraft unterstüzt wird, der Leiter das Feld mit höherer Geschwindigkeit verlassen könnte, als er in dasselbe eintrat, und so wird die elektromotorische Kraft des einen Impulses diejenige des andern überwiegen.

Mit einem Strome dieser Art vermochte Tesla Magnete kräftig zu erregen und viele interessante Versuche auszuführen, welche die Thatsache erkennen liessen, dass der eine der Stromimpulse überwiegt. Bei einem dieser Versuche befestigte er an seinem Oscillator einen Ringmagnet mit einer kleinen Luftstrecke zwischen den Polen. Dieser Magnet oscillirte achtzig Mal in der Sekunde auf und nieder. Eine Kupferscheibe, welche in den Luftraum des Ringmagneten gebracht wurde, wurde in rasche Rotation versetzt. Tesla bemerkte, dass dieser Versuch auch zu beweisen scheine, dass die Strömungslinien des Stromes durch eine Metallmasse hindurch durch die Anwesenheit eines Magneten in einer Weise gestört werden, die von dem sogenannten Hall'schen Effekte ganz unabhängig ist. Er zeigte ferner eine sehr interessante Methode zur Herstellung einer Verbindung mit dem oscillirenden Magnet. Dies geschah durch Anbringung kleiner isolirter Stahlstäbe an dem Magnet und Verbindung der Enden der Erregungsspule mit diesen Stahlstäben. Sobald der Magnet in Schwingungen versetzt wurde, bildeten sich stationäre Knoten in den Stahlstäben und mit diesen Punkten wurden die

Klemmen einer Gleichstromquelle verbunden. Tesla wies ferner darauf hin, dass solche Ströme, wie sie in seinem Apparate erzeugt würden, auch dazu benutzt werden könnten, aus einer Anzahl in denselben Stromkreis eingeschalteter Apparate durch Ermittelung der Schwingungen mit Hülfe der Resonanz einen bestimmten herauszusuchen. In der That besteht kein Zweifel, dass die harmonische und synchrone Telegraphie durch die Tesla'schen Apparate einen frischen Impuls empfangen wird und dass sich weite Möglichkeiten eröffnen.

Tesla war nicht wenig stolz auf seine jüngsten Errungenschaften und gab der Hoffnung Ausdruck, dass die von ihm beschriebenen Apparate unter den Händen von Praktikern und Gelehrten wichtige Resultate ergeben würden. Besonderes Gewicht legte er auf die Erleichterung der Untersuchungen über die Wirkung der mechanischen Vibration, und wies auf seine Beobachtungen in Bezug auf Eisenkerne hin.

Die Abbildung Fig. 312 zeigt perspektivisch eine der Formen des Apparates, welche Tesla bei seinen früheren Untersuchungen auf diesem Gebiete benutzte, und seine innere Konstruktion ist aus dem in Fig. 313 dargestellten Schnitt ersichtlich. Wie man sieht, ist der Kolben P in die Bohrung eines Cylinders C eingepasst, welcher mit Kanalmündungen $O\ O$ und I versehen ist, die sich um die innere Fläche herum erstrecken. Bei diesem besonderen Apparate dienen die beiden Kanäle $O\ O$ für den Austritt der Arbeitsflüssigkeit und der Kanal I für den Eintritt derselben. Der Kolben P ist mit zwei Schlitzen SS' versehen, deren Entfernung von einander auf das Sorgfältigste bestimmt ist. Die Röhren TT, welche in den Kolben eingeschraubt sind, stellen eine Kommunikation zwischen den Schlitzen SS' und den Kammern auf jeder Seite des Kolbens her und zwar ist jede dieser Kammern mit demjenigen Schlitze verbunden, welcher am weitesten von ihr entfernt ist. Der Kolben P ist fest auf eine Welle A geschraubt, die durch eng anschliessende Buchsen an den Enden des Cylinders C hindurchgeht. Die Buchsen erstrecken sich bis auf eine sorgfältig bestimmte Länge in den Hohlraum des Cylinders C und begrenzen auf diese Weise die Grösse des Hubes.

Das Ganze wird von einem Mantel J umgeben. Dieser Mantel dient hauptsächlich zur Abschwächung des von dem Oscillator erzeugten Tones und als Dampfmantel, wenn der Oscillator mittels Dampf betrieben wird, in welchem Falle eine etwas andere Anordnung der Magnete angewendet wird. Der hier abgebildete Apparat war für Demonstrationszwecke bestimmt, wofür die Anwendung komprimirter Luft am passendsten erschien.

Ein Magnetrahmen *MM* ist derart angebracht, dass er den Oscillator dicht umschliesst, und mit Erregungsspulen versehen, welche auf gegenüberliegenden Seiten zwei starke magnetische Felder erzeugen. Der Magnetrahmen ist aus dünnem Eisenblech hergestellt. In dem auf diese Weise erzeugten äusserst kräftigen Felde sind zwei Paar Spulen *HH* angeordnet, welche in metallischen Gehäusen, die auf die Welle *A* des

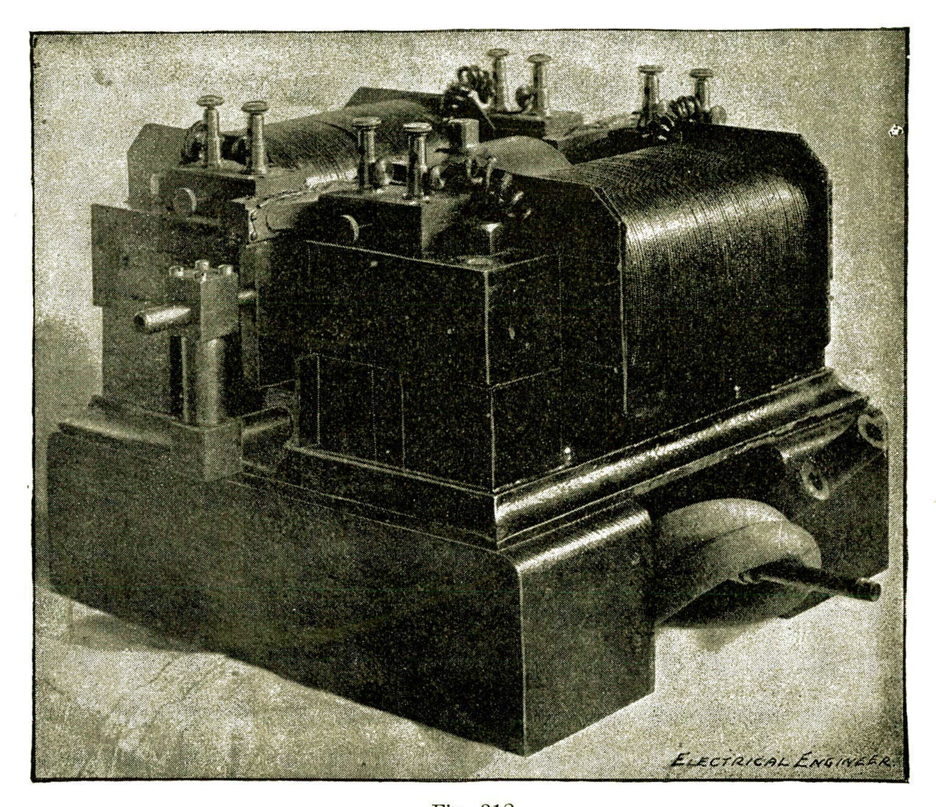


Fig. 312.

Kolbens aufgeschraubt sind und noch ausserdem Lager in den Buchsen *BB* auf jeder Seite haben, gelagert sind. Das Ganze ist auf eine metallische Grundplatte montirt, die ihrerseits auf zwei Holzblöcken ruht.

Die Wirkungsweise des Apparates ist folgende: Nachdem die Betriebsflüssigkeit durch ein Einlassrohr nach dem Kanale *I* geführt ist und der Kolben, wie wir annehmen wollen, in der angedeuteten Stellung sich befindet, ist es hinreichend, obwohl nicht nothwendig, auf das eine der aus den Buchsen *B* herausragenden Wellenenden einen leichten Schlag auszuüben. Nehmen wir an, der Schlag sei so erfolgt,

dass sich der Kolben (wenn man auf das Diagramm sieht) nach links bewegt, so schiesst die Luft durch den Schlitz *S'* und das Rohr *T* in die zur Linken befindliche Kammer. Der Druck treibt nun den Kolben nach rechts und der letztere schiesst infolge seiner Trägheit über die Gleichgewichtslage hinaus und zwingt dadurch die Luft, durch den Schlitz *S* und das Rohr *T* in die Kammer rechts zu gehen, während die Verbindung mit der linken Kammer unterbrochen ist. Aus der letzteren entweicht die Luft durch das Auspuffrohr *O* zur Linken. Beim Rückgang des Kolbens findet ein ähnlicher Vorgang auf der rechten Seite

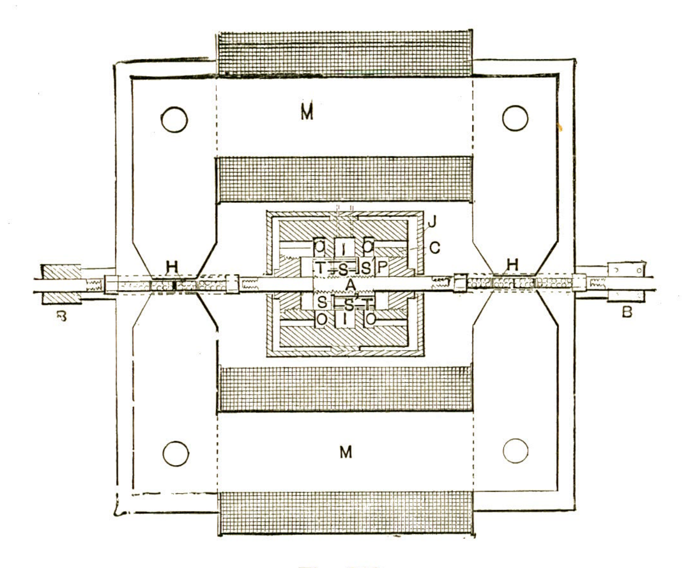


Fig. 313.

statt. Diese Schwingungen werden kontinuirlich unterhalten und der Apparat führt dabei je nach dem Luftdruck und der Belastung Vibrationen aus, die ein kaum wahrnehmbares Zittern von nicht mehr als 0,4 mm Spielraum nach der einen oder andern Seite hervorbringen, aber auch bis über 10 mm Amplitude haben können. Es ist in der That interessant zu sehen, wie eine Glühlampe durch den Apparat mit einem kaum merklichen Zittern brennend erhalten wird.

Tesla gab sich viele Mühe, den mechanischen Theil des Apparates derart zu vervollkommnen, dass die Oscillationen in ökonomischer Hinsicht zufriedenstellend unterhalten wurden, und wies in seinem Vortrage auf die grossen Schwierigkeiten hin, die er bei Erreichung dieses Zieles zu überwinden hatte. Die Erzeugung von Oscillationen von konstanter

Schwingungsdauer bot aber nicht geringere Schwierigkeiten. Wie bereits erwähnt, erzielt Tesla die Konstanz der Schwingungsdauer auf drei verschiedenen Wegen. Entweder nämlich sieht er, wie in dem dargestellten Falle, sorgfältig berechnete Kammern in dem Oscillator selbst vor oder er verbindet mit dem Oscillator eine Luftfeder von konstanter Elasticität. Am interessantesten aber von allen ist wohl die Erzielung der Konstanz der Schwingungsdauer durch die Reaktion des elektromagnetischen Theils der Kombination. Tesla wickelt seine Spulen am liebsten für hohe Spannung und verbindet mit ihnen einen Kondensator, durch welchen die natürliche Schwingungsdauer der Kombination nahezu gleich der mittleren Schwingungsdauer wird, bei welcher der Kolben oscilliren würde, wenn keine besondere Vorkehrung für die Konstanthaltung der Schwingungsdauer bei variablem Druck und variabler Belastung getroffen wäre. Da der Kolben mit den Spulen vollkommen frei beweglich ist, so ist derselbe äusserst empfänglich für den Einfluss der natürlichen Schwingungen, welche in den Stromkreisen der Spulen *HH* entstehen. Der mechanische Nutzeffekt des Apparates ist sehr hoch infolge des Umstandes, dass die Reibung auf ein Minimum reducirt ist und die bewegten Gewichte klein sind; die Leistung des Oscillators ist daher eine sehr bedeutende.

Theoretisch betrachtet, muss man sich, wenn man die mannigfachen von Tesla hervorgehobenen Vortheile in Erwägung zieht, und andererseits die Einfachheit der Anordnung betrachtet, einigermassen wundern, dass vorher in dieser Richtung nichts gethan ist. Zweifellos haben viele Erfinder zuweilen den Gedanken gehabt, Ströme durch Anbringung einer Spule oder eines Magnetkernes an dem Kolben einer Dampfmaschine oder durch die Schwingungen einer Stimmgabel oder ähnliche Vorrichtungen zu erzeugen, aber die Nachtheile solcher Anordnungen vom technischen Standpunkte aus lagen auf der Hand. In seinen einleitenden Bemerkungen zu seinem Vortrage führte Tesla aus, wie er, durch die Nothwendigkeit gezwungen, Ströme von konstanter Periode zu erzeugen, und als Resultat seiner Bemühungen, elektrische Oscillationen auf die einfachste und ökonomischste Weise zu unterhalten, durch eine Reihe von Ueberlegungen dahin geführt worden sei, in dieser neuen Richtung zu arbeiten.

Sachregister.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.

